

Benchmarking im Werkzeugmaschinenbau
Ein Beitrag zur wettbewerbsfähigen Produktentwicklung

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sebastian Simon

aus Köln

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. E. Abele
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. H. Birkhofer
Tag der Einreichung:	20. 07. 2006
Tag der mündlichen Prüfung:	07. 11. 2006

Darmstadt 2006

D17

Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Forschungstätigkeit am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. E. Abele herzlich für die engagierte fachliche Betreuung der Arbeit bedanken. Seine konstruktiven Anregungen und seine Unterstützung beim Knüpfen wertvoller Kontakte in die Industrie haben maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Ebenfalls danken möchte ich Herrn Prof. Dr. h.c. Dr.-Ing. H. Birkhofer für die bereitwillige Übernahme des Korreferats.

Gleichermaßen möchte ich mich bedanken bei meinen Ansprechpartnern aus der Industrie, Herrn Dr.-Ing. C. Kobialka, Herrn Dr.-Ing. J. Walz, Herrn Dipl.-Ing. C. Wernz, Herrn P. Gröner (EMAG Maschinenfabrik GmbH), Herrn Dr.-Ing. T. Lasch (Gildemeister AG) und Herrn Dipl.-Ing. F. Kilian (Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH und Co. KG).

Zudem gilt mein Dank den Mitarbeitern des Institut PTW, die mich durch interessante fachliche Diskussionen unterstützt haben, dabei insbesondere Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. T. Liebeck sowie Frau Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Dervisopoulos und Herrn Dipl.-Ing. A. Bitzer.

Darmstadt, November 2006

Sebastian Simon

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	XII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	XIII
SYMBOLVERZEICHNIS.....	XV
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 AUSGANGSLAGE.....	1
1.2 ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE	2
2 ANFORDERUNGEN AN PRODUKTE UND PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSE IM WERKZEUGMASCHINENBAU.....	4
2.1 STRUKTUR DES DEUTSCHEN WERKZEUGMASCHINENBAUS.....	4
2.2 ANFORDERUNGEN AN WERKZEUGMASCHINEN.....	5
2.3 INNOVATIONEN IM WERKZEUGMASCHINENBAU	9
2.4 PHASEN DES PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSES IM WERKZEUGMASCHINENBAU.....	13
2.5 AUSWIRKUNGEN DER GLOBALISIERUNG AUF DEN WERKZEUGMASCHINENBAU	16
2.5.1 Globalisierung der Absatzmärkte.....	16
2.5.2 Globalisierung der Produktion.....	18
2.5.3 Globalisierung der Entwicklung.....	21
2.6 ANFORDERUNGEN AN DEN PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS	23
3 STAND DER ERKENNTNISSE.....	25
3.1 ALLGEMEINE BENCHMARKING-METHODIK.....	25
3.2 BEWERTUNGSANSÄTZE FÜR PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSE	29
3.2.1 Prozessmodell nach Krause und Heimann	29
3.2.2 Innovationsprozess nach Werner.....	31
3.2.3 Prozessmodell nach Wildemann.....	32
3.2.4 Benchmarking-Methodik RACE II.....	34
3.2.5 Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau nach Schröder	36
3.3 BEWERTUNGSANSÄTZE FÜR TECHNISCHE PRODUKTE.....	38
3.3.1 Wertanalyse.....	38
3.3.2 Quality Function Deployment	39
3.3.3 Life-Cycle-Costing.....	41
3.3.4 Kano-Modell.....	43
3.3.5 Konkurrenz-Benchmarking von Produkten	44
3.4 ORGANISATIONSMETHODEN IM PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS.....	45
3.4.1 Projektorganisation.....	45
3.4.2 Zielkostenmanagement	48
3.4.3 Quality Gates.....	50
3.4.4 Concurrent Engineering.....	52
3.5 INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN	55
3.5.1 Kommunikationstechnologien	55
3.5.2 Produktdatenmanagement.....	57
3.6 KONZEPTIONS- UND VALIDIERUNGSTRUMENTE	59
3.6.1 Instrumente zur Unterstützung der Konzeption.....	59
3.6.2 Instrumente zur Unterstützung der Validierung	61

4 ZWISCHENFAZIT UND HYPOTHESEN.....	67
4.1 ABLEITUNG DES HANDLUNGSBEDARFS	67
4.1.1 <i>Benchmarking von Produktentstehungsprozessen.....</i>	67
4.1.2 <i>Benchmarking von Fertigungssystemen.....</i>	68
4.2 HYPOTHESEN ZUR VERKNÜPFUNG VON PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS UND DEM RESULTIERENDEN FERTIGUNGSSYSTEM	68
5 GANZHEITLICHER METHODISCHER ANSATZ ZUM BENCHMARKING VON FERTIGUNGSSYSTEMEN.....	70
5.1 ZIELSETZUNGS- UND VORBEREITUNGSPHASE.....	70
5.1.1 <i>Bestimmung von Referenzobjekten.....</i>	70
5.1.2 <i>Festlegung der Referenzparameter.....</i>	73
5.2 VERGLEICHSPHASE.....	77
5.2.1 <i>Definition der Bewertungsmethode.....</i>	77
5.2.2 <i>Ermittlung der Leistungslücken.....</i>	80
5.3 UMSETZUNGSPHASE	83
5.3.1 <i>Analyse der Leistungslücken.....</i>	83
5.3.2 <i>Deduktion von Maßnahmen.....</i>	86
6 ANWENDUNG DES METHODISCHEN ANSATZES ZUM BENCHMARKING VON FERTIGUNGSSYSTEMEN.....	90
6.1 ZIELSETZUNGS- UND VORBEREITUNGSPHASE.....	90
6.1.1 <i>Auswahl der Referenzobjekte.....</i>	90
6.1.2 <i>Festlegung der Referenzparameter.....</i>	92
6.2 VERGLEICHSPHASE.....	93
6.2.1 <i>Definition der Bewertungsmethode.....</i>	93
6.2.2 <i>Ermittlung der Leistungslücken.....</i>	94
6.3 UMSETZUNGSPHASE	96
6.3.1 <i>Analyse der Leistungslücken.....</i>	96
6.3.2 <i>Deduktion von Maßnahmen.....</i>	99
7 GANZHEITLICHER METHODISCHER ANSATZ ZUM BENCHMARKING VON PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSEN IM WERKZEUGMASCHINENBAU	101
7.1 ANSATZ ZUM BENCHMARKING VON PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSEN	101
7.1.1 <i>Zielsetzungs- und Vorbereitungsphase.....</i>	102
7.1.2 <i>Vergleichsphase.....</i>	105
7.1.3 <i>Umsetzungsphase.....</i>	107
7.2 DETAILLIERUNG DER BEWERTUNGSPARAMETER.....	108
7.2.1 <i>Anwendung der Entwicklungsinstrumente im Werkzeugmaschinenbau.....</i>	109
7.2.2 <i>Anwendung der Organisationsmethoden im Werkzeugmaschinenbau.....</i>	113
7.2.3 <i>Anforderungen an die Erfolgsfaktor-Ausprägungen.....</i>	121
8 ANWENDUNG DES METHODISCHEN ANSATZES ZUM BENCHMARKING VON PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSEN IM WERKZEUGMASCHINENBAU	123
8.1 ZIELSETZUNGS- UND VORBEREITUNGSPHASE.....	123
8.2 VERGLEICHSPHASE.....	124
8.2.1 <i>Laserschneidmaschine.....</i>	124
8.2.2 <i>Universaldrehmaschine.....</i>	125
8.2.3 <i>Bearbeitungszentrum.....</i>	127
8.3 UMSETZUNGSPHASE	128
8.3.1 <i>Fallstudie 1.....</i>	128
8.3.2 <i>Fallstudie 2.....</i>	129

8.3.3 Fallstudie 3.....	130
9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	132
9.1 GANZHEITLICHER METHODISCHER BENCHMARKING-ANSATZ.....	132
9.2 WEITERER FORSCHUNGSBEDARF.....	133
10 ANHANG.....	135
10.1 AUSWAHL AUF DER INDUSTRIEMESSE EMO 2005 VORGESTELLTER INNOVATIONEN	135
10.2 ZAHLEN ZUM WERKZEUGMASCHINENBAU IN TAIWAN.....	136
10.3 INFORMATIONEN ZUM BENCHMARKING VON FERTIGUNGSSYSTEMEN.....	137
10.4 INFORMATIONEN ZU DEN UNTERNEHMEN UND PRODUKTEN IM PEP-BENCHMARKING	138
10.5 KURZFRAGEBOGEN: ERFOLGSFAKTOREN FÜR VERTEILTE PRODUKTENTSTEHUNGS-PROJEKTE	142
10.6 INTERVIEWERGEBNISSE ZUR LASERSCHNEIDMASCHINE	147
10.7 INTERVIEWERGEBNISSE ZUR UNIVERSALDREHMASCHINE	151
10.8 INTERVIEWERGEBNISSE ZUM BEARBEITUNGSZENTRUM	155
LITERATURVERZEICHNIS	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zielsetzung: Identifikation der Erfolgsfaktoren von Produktentstehungsprozessen und Fertigungssystemen.....	2
Abbildung 2: Strukturdaten des deutschen Werkzeugmaschinenbaus (2004)	5
Abbildung 3: Anforderungen an Werkzeugmaschinen	6
Abbildung 4: Aspekte der Flexibilität einer Werkzeugmaschine.....	8
Abbildung 5: Arbeitsgenauigkeit und Schnittgeschwindigkeit von Werkzeugmaschinen: Entwicklungstendenz	10
Abbildung 6: Verbreitung der NC/CNC-Technologie	11
Abbildung 7: Maschinenkonzepte im Spannungsfeld zwischen Mengenleistung und Flexibilität.....	11
Abbildung 8: Entwicklung der Drehzahl von Motorspindeln	12
Abbildung 9: Produktentstehungsprozess im Werkzeugmaschinenbau: Phasen und Informationsflüsse	14
Abbildung 10: Marktanteile deutscher WZM-Produktion in Top 10-Verbraucherländern (ohne Teile und Zubehör, 2004).....	18
Abbildung 11: Produktionsvolumen und prognostizierte Wachstumsraten des Werkzeugmaschinenbaus (2004 bis 2014).....	19
Abbildung 12: Lokalisierung von Zukaufkomponenten in China am Beispiel eines Bearbeitungszentrums.....	20
Abbildung 13: Globaler Arbeitsmarkt für Ingenieure: Gehälter und Verfügbarkeit	21
Abbildung 14: Herkunft und Bereich von Innovationen im Werkzeugmaschinenbau: Statistische Auswertung auf der Industriemesse EMO 2005 vorgestellter Innovationen	22
Abbildung 15: Allgemeines Vorgehen beim Benchmarking: Verfahrensschritte und mögliche Ansätze.....	26
Abbildung 16: Beitrag des Benchmarkings zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit: Identifikation und Schließung von Leistungslücken	28
Abbildung 17: Systemkonzept für Produktentwicklungsprozesse nach Krause/Heimann	30
Abbildung 18: Innovationsprozess nach Werner.....	32
Abbildung 19: Prozessmodell zum F&E-Controlling nach Wildemann.....	33

Abbildung 20: Bewertungshorizonte für Produktentstehungsprozesse im RACE II - Modell	35
Abbildung 21: Grobkonzept der Benchmarking-Methodik für Entwicklungsbereiche im Maschinenbau nach Schröder	36
Abbildung 22: Klassisches Konkurrenz-Benchmarking von Produkten am Beispiel eines Erzeugnisses der Klimatechnik	44
Abbildung 23: Idealformen der Projektorganisation im Spannungsfeld zwischen Linien- und Projekthierarchie	46
Abbildung 24: Regelkreis zur Erreichung der Zielkosten im Produktenstehungsprozess	50
Abbildung 25: Entscheidungsprozesse am Quality Gate	52
Abbildung 26: Parallelisierung von Phasen der Produktentstehung im Maschinenbau	53
Abbildung 27: Virtuelle Prototypen im Werkzeugmaschinenbau: Interdependenzen der Optimierungsmodelle	62
Abbildung 28: Strategische Ansatzpunkte im Produktentstehungsprozess zur kundenoptimalen Maschinenentwicklung	69
Abbildung 29: Konfiguration alternativer Fertigungssysteme: Variation von Prozessketten und Prozessen	70
Abbildung 30: Variationsdimensionen in der Prozesskette	71
Abbildung 31: Variationsdimensionen in den Prozessen	72
Abbildung 32: Charakteristika von Fertigungssystemen, Fertigungsbedingungen und Zielgrößen von Fertigungsprozessen	74
Abbildung 33: Spektrum der Werkstücke und Fertigungsbedingungen am Beispiel der Automobilindustrie	76
Abbildung 34: Bewertungsmethode für Fertigungssysteme: Parametrisches Kostenmodell	78
Abbildung 35: Kapital- und Arbeitskosten ausgewählter Fertigungsstandorte	79
Abbildung 36: Sensitivität eines Fertigungssystem-Charakteristikums	80
Abbildung 37: Zweistufiger Leistungsvergleich von Fertigungssystemen	83
Abbildung 38: Bezug der Sensitivitätsanalysen auf das gesamte Anwendungsspektrum	84
Abbildung 39: Priorisierung von Fertigungssystem-Charakteristika anhand der Leistungslücke und der Anwendungsrelevanz	85
Abbildung 40: Ableitung von Optimierungsmaßnahmen über die Fertigungssystem-Charakteristika	87

Abbildung 41: Bewertung und Selektion von Optimierungsmaßnahmen für Fertigungssysteme	89
Abbildung 42: Prozesskette der Zahnradfertigung vom Roh- zum Fertigteil	90
Abbildung 43: Konfiguration alternativer Fertigungssysteme nach den Variationsdimensionen Integrations- und Automatisierungsgrad	91
Abbildung 44: Definierte Anwendungsszenarien: Fertigungsstandorte und Fertigungsaufgaben.....	92
Abbildung 45: Benchmarking auf der Prozess-Ebene: Beispiel Wälzfräsen	94
Abbildung 46: Benchmarking auf der Prozessketten-Ebene.....	95
Abbildung 47: Analyse der Sensitivitäten der Charakteristika	96
Abbildung 48: Variation der Sensitivitäten unter extremen Randbedingungen.....	97
Abbildung 49: Vergleich der Auslastungs- und Losgrößen-Flexibilität	98
Abbildung 50: Priorisierung der Charakteristika: Beispiel	99
Abbildung 51: Ableitung konkreter Optimierungsmaßnahmen (hypothetische Beispiele)	100
Abbildung 52: Hinterlegung der Leistungslücke mit Maßnahmen	100
Abbildung 53: Kernelemente der neuen Methode zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen.....	101
Abbildung 54: Bewertung und Auswertung der Referenzparameter: Soll- und Ist-Werte.....	106
Abbildung 55: Umformungen der Primärdaten zu Bewertungsparametern: Kalibrierung, Skalierung und Transformation.....	107
Abbildung 56: Definition des Erfüllungsgrades: Bildung einer integrierenden Kennziffer	108
Abbildung 57: Team-Interaktion über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand	109
Abbildung 58: Produktdaten über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand.....	111
Abbildung 59: Einordnung der entwicklungsunterstützenden Instrumente über die Phasen des Produktentstehungsprozesses.....	112
Abbildung 60: Zielkostenmanagement über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand	116
Abbildung 61: Entscheidungskriterien und Entscheidungspfade an den Quality Gates: Idealisierte Darstellung.....	117
Abbildung 62: Concurrent Engineering über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand	119

Abbildung 63: Anforderungsmatrix ($E_{ij,ANF}$): Ableitung der erforderlichen Ausprägungen der Erfolgsfaktoren.....	121
Abbildung 64: Auswertung Fallstudie 1: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren	129
Abbildung 65: Auswertung Fallstudie 2: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren	130
Abbildung 66: Auswertung Fallstudie 3: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren	131
Abbildung 67: Struktur des Werkzeugmaschinenexports Taiwans: Maschinentypen und Export-Länder	136
Abbildung 68: Umsätze taiwanesischer Hersteller (2003, in Mio. USD)	137
Abbildung 69: Kennziffern Wälzfräsmaschinen	137
Abbildung 70: Weltweit umsatzstärkste Werkzeugmaschinenhersteller 2003/2004 (Umsatz mit Werkzeugmaschinen in Mio. EUR).....	138
Abbildung 71: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk Trumpf GmbH & Co KG (nur Werkzeugmaschinen)	139
Abbildung 72: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk Gildemeister AG.....	139
Abbildung 73: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk EMAG Maschinenfabrik GmbH	140
Abbildung 74: Eigenschaften der Laserschneidmaschine Trumatic L 2510.....	141
Abbildung 75: Positionierungen der Gildemeister CTX 10er Baureihe	141
Abbildung 76: EMAG VLC 400 MT: Außenansicht und Bearbeitungsvorgänge	142
Abbildung 77: Anwendung von Entwicklungswerkzeugen bei der Trumatic L 2510	148
Abbildung 78: Concurrent Engineering im Entwicklungsprozess der Trumatic L 2510	150
Abbildung 79: Schneidgeschwindigkeit des TCF 1 – Lasers in Abhängigkeit von der Materialdicke	150
Abbildung 80: Anwendungsumfang von Kommunikationsmedien bei der Entwicklung der CTX 10er Baureihe	151
Abbildung 81: Gleichteile der CTX 10er Reihe (Beispiele)	154
Abbildung 82: Ableitung von Pflichtenheft-Vorgaben: Werkstück.....	157
Abbildung 83: Ableitung von Pflichtenheft-Vorgaben: Teilespektrum	158

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erfüllung von Anforderungen durch neue Fertigungstechnologien.....	13
Tabelle 2: Beispiele für länderspezifische Anforderungen an Produktionstechnologie	17
Tabelle 3: Formen des Benchmarking: Aufwand und Nutzen	28
Tabelle 4: Bewertung von synchronen und asynchronen Kommunikationsmedien nach Nutzen und Aufwand	56
Tabelle 5: Beurteilung ausgewählter Methoden zur Bewertung von Produktentstehungsprozessen	67
Tabelle 6: Beurteilung ausgewählter Methoden zur Bewertung von technischen Produkten.....	68
Tabelle 7: Informationsquellen für das Benchmarking von Fertigungssystemen..	81
Tabelle 8: Vergleichbarkeitsindikatoren: Maßgrößen aus Produkt- und Projektsicht	102
Tabelle 9: Erfolgsindikatoren: Mittelbare und unmittelbare Maßgrößen.....	104
Tabelle 10: Auswahl von auf der Industriemesse EMO 2005 vorgestellten Innovationen	136
Tabelle 11: Kennzahlen der befragten Unternehmen (Gruppen-Ergebnisse)	138

Abkürzungsverzeichnis

CAD	-	Computer Aided Design
CAE	-	Computer Aided Engineering
CAM	-	Computer Aided Manufacturing
CE	-	Concurrent Engineering
CIM	-	Computer Integrated Manufacturing
CNC	-	Computerized Numerical Control
DMU	-	Digital Mock-up
FEM	-	Finite Elemente Methode
FMEA	-	Failure Modes and Effects Analysis
GAAP	-	Generally Accepted Accounting Principles
HGB	-	Handelsgesetzbuch
HPC	-	High Performance Cutting
HSC	-	High Speed Cutting
KSM	-	Kühlschmiermittel
LCC	-	Life-Cycle-Costing
MKS	-	Mehrkörpersimulation
MM	-	Zeitschrift Maschinenmarkt
NC	-	Numerical Control
PDM	-	Produktdatenmanagement
PEP	-	Produktentstehungsprozess
QFD	-	Quality Function Deployment
QG	-	Quality Gate
QZ	-	Zeitschrift Qualität und Zuverlässigkeit
RACE	-	Readiness Assessment for Concurrent Engineering
SE	-	Simultaneous Engineering
TC	-	Target Costing
TCO	-	Total Cost of Ownership

TRIZ	- Theorie des erfinderischen Problemlösens
VDI	- Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VDW	- Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken
VR	- Virtual Reality
WA	- Wertanalyse
WB	- Zeitschrift Werkstatt und Betrieb
WZM	- Werkzeugmaschine
ZK	- Zielkosten
ZWF	- Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb

Symbolverzeichnis

a	- Arbeitsstunden im Jahr
A	- Ausschuss-Anteil
A_j	- Anforderungen eines Entwicklungsprojektes
A_{mi}	- Auswirkung der Maßnahme m auf C_i
B	- Budgetrestriktion für Optimierungsmaßnahmen
B_B	- Bedarf an Betriebsstoffen je Stunde
B_R	- Raumbedarf in m^2
C_i	- Charakteristikum i eines Fertigungssystems
$E_{i,IST}$	- Ist-Ausprägungen von Erfolgsfaktoren
$E_{i,SOLL}$	- Soll-Ausprägungen von Erfolgsfaktoren
$E_{ib,BEW}$	- Ausprägungen der Bewertungsparameter für $E_{i,IST}$
$E_{ij,ANF}$	- Anforderungsmatrix (Erfolgsfaktoren i zu Anforderungen j)
E_m	- Effektivität der Maßnahme m
g	- Umfang der erforderlichen Gestaltänderung am Werkstück
G_{ib}	- Gewichtungsfaktoren der Bewertungsparameter für $E_{i,IST}$
h_j	- Häufigkeit des Auftretens einer Fertigungsbedingung K_j bei den Maschinenanwendern im Zielsegment
I_{FS}	- Investitions- abzüglich Restwert eines Fertigungssystems
K	- Durchschnittliche Systemauslastung
K_A	- Ausschusskosten je Ausschussteil
k_A	- Ausschusskosten je Gutteil
K_{Ab}	- Abschreibungen je Jahr
k_B	- Betriebsstoffkosten je Betriebsstoff-Einheit
K_B	- Kosten der Betriebsstoffe je Stunde
k_{BW}	- Fertigungskosten je bearbeitetem Gutteil-Werkstück
k_E	- Werkzeugkosten je Einsatz
K_{FS}	- Kosten der Fertigungssystem-Bereitstellung je Jahr

K_{FV}	- Kosten der Fertigungsverfügbarkeit je Stunde
K_I	- Kosten der Instandhaltung je Jahr
K_j	- Fertigungsbedingung j eines Anwendungsszenarios
k_{LB}	- Arbeitskosten je Maschinenbediener je Stunde
k_{LE}	- Arbeitskosten je Einrichter je Stunde
K_m	- Einmalige Kosten bei Umsetzung der Maßnahme m
K_{PV}	- Kosten der Personalverfügbarkeit je Stunde
K_R	- Kosten des Raumbedarfs je Jahr
k_R	- Raumkosten je m ² je Jahr
K_{SV}	- Kosten der Fertigungssystem-Verfügbarkeit je Stunde
k_W	- Werkzeugkosten je Werkstück
K_Z	- Kapitalkosten je Jahr
l	- Losgröße
L_B	- Kosten Maschinenbediener je Stunde je Fertigungssystem
L_E	- Kosten Einrichter je Stunde je Fertigungssystem
L_i	- Leistungslücke von C_i gegenüber dem Bestwert
N_i	- Anreiz zur Verbesserung von C_i
OEE	- Gesamtanlageneffektivität (Overall Equipment Effectiveness)
s_i	- Sensitivität von C_i
\hat{s}_{ij}	- gewichtete Sensitivität von C_i in Bezug auf K_j
\hat{S}_{ij}	- Mittel der gewichteten Sensitivität von C_i in Bezug auf K_j
s_{ij}	- Sensitivität von C_i in Bezug auf K_j
T_B	- Beladezeit
t_G	- Stückzeit
T_G	- Zykluszeit
T_H	- Hauptzeit
T_L	- Technische Lebensdauer in Jahren
T_{lauf}	- Laufzeit eines Fertigungssystems in Stunden je Jahr
T_N	- Nebenzeit

t_R	- Betriebsmittel-Rüstzeit
T_R	- Rüstzeit je Los
t_W	- Belegungszeit je Werkstück
w	- Werkstücke je Werkzeug-Einsatz
Z	- Zielgröße
z	- Zyklus-Stückzahl
ε	- Erfüllungsgrad
ρ_B	- Anzahl Maschinenbediener je Fertigungssystem
ρ_E	- Anzahl Einrichter je Fertigungssystem
τ	- Zeitbedarf für Gestaltänderung am Werkstück

1 Einführung

Alles, was erfunden werden
kann, wurde bereits erfunden.
*Charles H. Duell, Direktor des
U.S. Patentamtes, 1899*

1.1 Ausgangslage

Der sich verschärfende globale Wettbewerb setzt produzierende Unternehmen zunehmend unter Druck. Der Einsatz hochproduktiver, flexibler und kostengünstiger Fertigungssysteme trägt wesentlich dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Produzenten und Zulieferer in der Automobilindustrie, im Flugzeugbau, in der Elektroindustrie und in vielen weiteren Investitions- und Konsumgüterbranchen zu erhalten.¹

Zu den technologischen Herausforderungen sind in den letzten zwei Jahrzehnten weitere Herausforderungen hinzugetreten: die Globalisierung der Absatzmärkte, die Globalisierung der Produktionsnetzwerke und als Folge schließlich die Globalisierung der Entwicklungsaktivitäten einzelner Unternehmen. Zunehmend erfordert die Entwicklung erfolgreicher Produkte die Präsenz im jeweiligen Absatzmarkt, um gegenwärtige und zukünftige Produktionsbedingungen der Kunden besser zu verstehen und um in enger Zusammenarbeit mit den Kunden neue Fertigungslösungen zu entwickeln. Verteilte Entwicklungsaktivitäten stellen erhöhte Anforderungen an die im Entwicklungsprozess eingesetzten Organisationsmethoden und Instrumente. Die Überbrückung räumlicher und organisatorischer Distanzen erfordert neue Techniken des Projektmanagements, den Einsatz neuer Informations- und Kommunikationstechnologien und neue Wege zur Schaffung von Transparenz in Bezug auf den technischen Reifegrad und die Erreichung der betriebswirtschaftlichen Ziele eines Entwicklungsprojekts. Unternehmen, denen all dies nicht gelingt, riskieren deutliche zeitliche Verzögerungen bei neuen Entwicklungen sowie Qualitätsprobleme und eine verringerte Profitabilität bei neuen Produkten.

Das Benchmarking ist eine seit Jahren bewährte Methodik zur Bewertung und Optimierung von Abläufen und Produkten. Es unterstützt Unternehmen dabei, sich an einem Weltstandard zu orientieren, anspruchsvolle und dennoch erreichbare Ziele zu setzen und Steigerungspotenziale umzusetzen. Benchmarking wird mittlerweile zunehmend im Bereich der innovativen Produktgestaltung eingesetzt.²

¹ Vgl. Schuh/Klocke/Brecher/Schmitt, 2005.

² Vgl. Camp, 1994; Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 20-28.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die Anwendung der Benchmarking-Methodik im Werkzeugmaschinenbau kann zur Klärung dreier grundlegender Fragestellungen beitragen (vgl. Abbildung 1):

1. Was kennzeichnet erfolgreiche Entwicklungsprojekte im Werkzeugmaschinenbau? Auf welche Faktoren lässt sich der Erfolg oder Misserfolg von Projekten zur Neuentwicklung von Werkzeugmaschinen zurückführen?
2. Was kennzeichnet erfolgreiche Fertigungssysteme? Wie müssen die Charakteristika von Fertigungssystemen gestaltet sein, um zum wirtschaftlichen Erfolg der Maschinenanwender beizutragen?
3. Wie sind die Erfolgsfaktoren von Entwicklungsprojekten und den resultierenden Fertigungssystemen verknüpft? Was muss ein Entwicklungsteam "richtig machen", um bestimmte Eigenschaften bei den Fertigungssystemen zu erreichen?

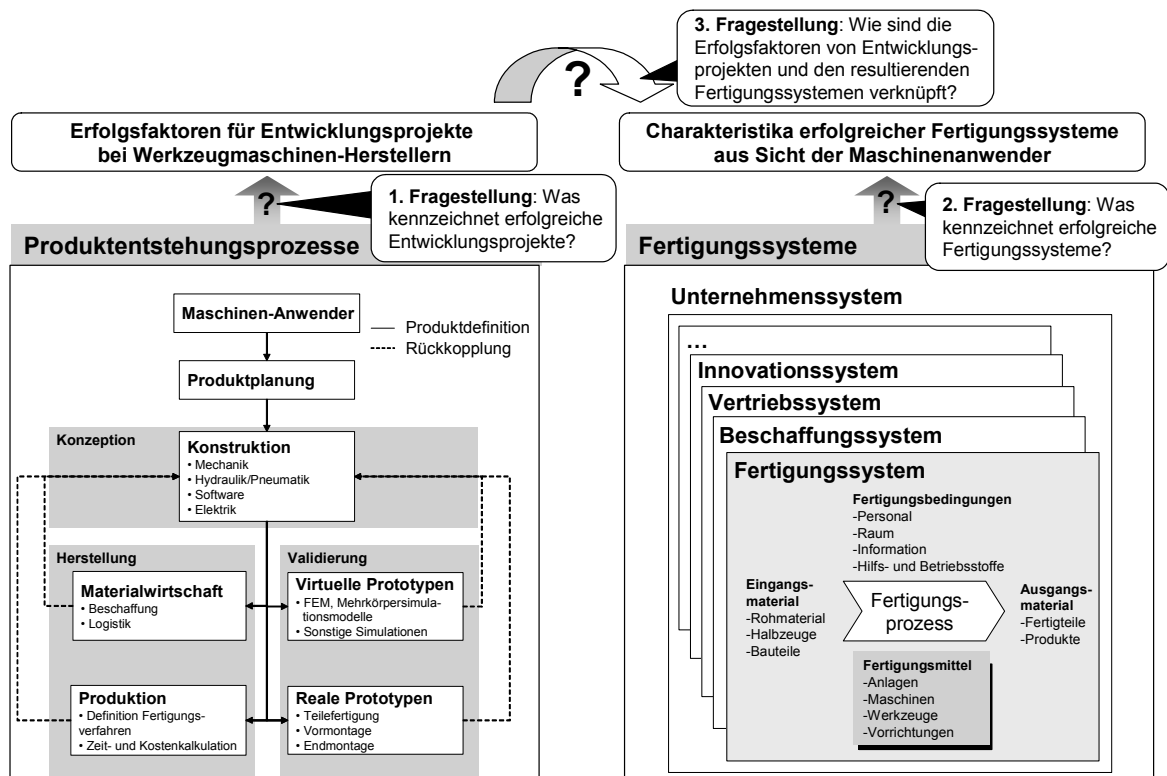


Abbildung 1: Zielsetzung: Identifikation der Erfolgsfaktoren von Produktentstehungsprozessen und Fertigungssystemen³

Aus Sicht der Praxis ermöglicht der duale Ansatz über Produktentstehungsprojekte und Fertigungssysteme, Transparenz über die Notwendigkeit und die Zielsetzung

³ Eigene Darstellung, vgl. zum Produktentstehungsprozess: Sanft, 1995, S. 11.

1 Einführung

organisatorischer Optimierungen im Hinblick auf ihre Auswirkung auf die angestrebten Produkt-Charakteristika zu erlangen. Der Blick des Praktikers ist in der Regel auf die gerade aktuellen Entwicklungsaufgaben gerichtet. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die relative Wichtigkeit der Aufgaben ganzheitlich bewertbar zu machen. Zudem soll der Blick auf die organisatorischen Voraussetzungen des Produktentstehungsprozesses gerichtet werden, die über den kurzfristigen Erfolg der aktuellen Entwicklungsaufgaben hinaus den Erfolg zukünftiger Innovationen sicherstellen.

Die Vorgehensweise der Arbeit gliedert sich wie folgt:

- **Zielsetzung und Stand der Erkenntnisse:** Der erste Teil der Arbeit widmet sich den Voraussetzungen und spezifischen Anforderungen der Branche, sowie dem Stand der Wissenschaft. Bestehende Bewertungsansätze und Konzepte zur optimalen Gestaltung von Produktentstehungsprozessen und Produkten werden kurz erörtert und eingeordnet (Kapitel 1 bis 4).
- **Vorstellung neuer Benchmarking-Methoden:** Es werden neuartige methodische Ansätze zum Benchmarking von a) Produkten und b) Produktentstehungsprozessen vorgestellt, die geeignet erscheinen, die spezifischen Anforderungen des Werkzeugmaschinenbaus zu erfüllen (Kapitel 5 und 7).
- **Umsetzung neuer Benchmarking-Methoden:** Beide Methoden werden durch ihre Anwendung in repräsentativen Praxisfällen plausibilisiert. Damit soll die Praxistauglichkeit nachgewiesen, sowie mögliche Verbesserungspotenziale identifiziert werden (Kapitel 6 und 8).
- **Abschluss:** Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf die formulierten Fragestellungen resümiert und zukünftiger Forschungsbedarf aufgezeigt (Kapitel 9).

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Die Betrachtung geht aus von der Struktur des deutschen Werkzeugmaschinenbaus und den Anforderungen an Werkzeugmaschinen und beleuchtet dann, in welcher Weise die Branche die gestellten Anforderungen durch kontinuierliche Innovationstätigkeit erfüllt. Danach werden der idealtypische Entwicklungsprozess sowie die Auswirkungen der Globalisierung im Werkzeugmaschinenbau betrachtet. Abschließend werden die Anforderungen an den Produktentstehungsprozess zusammengefasst.

2.1 Struktur des deutschen Werkzeugmaschinenbaus

Das Produktionsvolumen des deutschen Werkzeugmaschinenbaus hat im Jahr 2005 die Marke von 10 Mrd. EUR überschritten (inklusive Teile, Zubehör, Reparatur und Instandhaltung). Damit ist Deutschland weltweit der zweitgrößte Produzent von Werkzeugmaschinen nach Japan. Große Anteile des Umsatzvolumens entfallen auf Bearbeitungszentren, Flexible Systeme, Drehzentren, Schleif-, Hon-, Läpp- und Poliermaschinen sowie Pressen, Fräs- und Transfermaschinen (vgl. Abbildung 2). Der Werkzeugmaschinenbau ist in Deutschland stark geprägt von kleinen und mittelständischen Unternehmen. So arbeitet die Hälfte der Beschäftigten in Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitern. Die kleineren Hersteller sind meist auf wenige Fertigungstechnologien und Kundengruppen fokussiert und weisen damit einen hohen Spezialisierungsgrad auf. Die geringe Größe vieler Hersteller fördert zwar auf der einen Seite die Flexibilität in der Reaktion auf sich ändernde Anwenderbedürfnisse, bewirkt jedoch auch geringe Skaleneffekte bei Entwicklungs- und Herstellprozessen. Die Globalisierung aller geschäftlichen Aktivitäten stellt besonders kleinere Unternehmen vor finanzielle und personelle Herausforderungen.⁴

Der deutsche Werkzeugmaschinenbau trägt einen großen Anteil am Export des gesamten deutschen Maschinenbau-Sektors. Die aktuell umsatzstärksten Exportländer sind China und die USA, gefolgt von einigen westeuropäischen Staaten. Werkzeugmaschinen werden überall in der metallverarbeitenden Industrie benötigt. Ein überwiegender Anteil der Investitionsgüter und viele Konsumgüter werden unter Einsatz von Werkzeugmaschinen hergestellt. Die Produktionstechnologie hat zudem einen entscheidenden Einfluss auf die Produktionskosten und damit die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Anwender. Mehr als die Hälfte des Pro-

⁴ Vgl. VDW, 2006, S. 11 ff.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

duktionswertes des deutschen Werkzeugmaschinenbaus wird direkt oder indirekt durch die Automobilindustrie nachgefragt. Die zweitstärkste Abnehmergruppe ist der Maschinenbau. Innerhalb dieses breitgefächerten Segments nehmen die Werkzeugmaschinenhersteller selbst gemessen am abgenommenen Produktionswert den höchsten Rang ein. Ebenfalls bedeutsam sind zudem beispielsweise der Stanzwerkzeug- und Formenbau, die Antriebstechnik sowie Druck- und Papiermaschinen.⁵

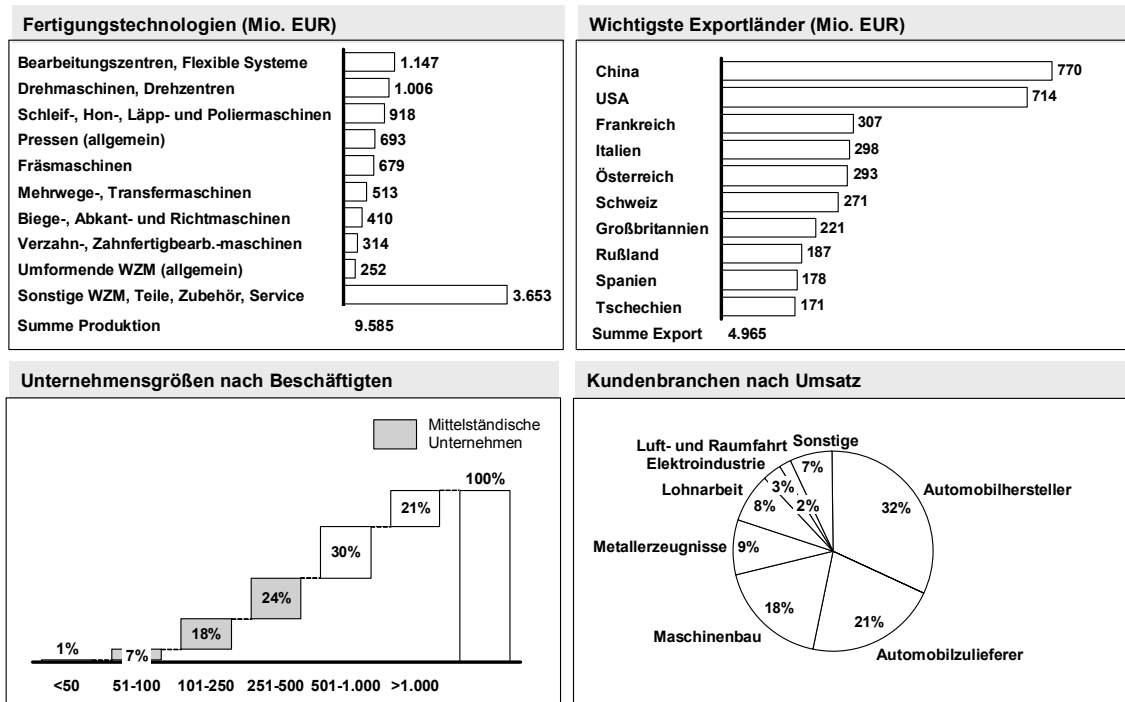


Abbildung 2: Strukturdaten des deutschen Werkzeugmaschinenbaus (2004)⁶

2.2 Anforderungen an Werkzeugmaschinen

Die Anforderungen an Werkzeugmaschinen sind in den vergangenen Jahren aufgrund des hohen Wettbewerbsdrucks sowohl innerhalb der Werkzeugmaschinen-Branche, als auch bei den Anwendern von Werkzeugmaschinen stetig gestiegen.

Die Anforderungen an Werkzeugmaschinen lassen sich in die Kategorien Fertigungskosten, Mengenleistung, Arbeitsgenauigkeit und Flexibilität differenzieren (vgl. Abbildung 3).⁷

Die Fertigungskosten beinhalten die Summe der über die gesamte Nutzungsdauer der Werkzeugmaschine durch Betriebsmittel, Werkzeuge, Instandhaltung und Per-

⁵ Vgl. VDW, 2006, S. 11 ff.

⁶ Vgl. VDW, 2006, S. 10 ff.

⁷ Vgl. Milberg, 1995, S. 19-32 und Hirsch, 2000, S. 7-62.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

sonal verursachten Kosten. Auf der Seite der Betriebsmittel gehören dazu die Abschreibungen und Kapitalkosten, die Entsorgungskosten sowie die laufenden Betriebskosten (z.B. Energie, Kühlschmiermittel, Druckluft). Bei den Kosten für das Personal sind das notwendige Qualifikationsniveau der Einrichter und Maschinenbediener sowie die Möglichkeiten der Mehrmaschinenbedienung die entscheidenden Einflussfaktoren. Im Idealfall können sogar bedienerlose Schichten realisiert werden. Damit werden jedoch in der Regel höhere Investitionen in die Betriebsmittel notwendig.

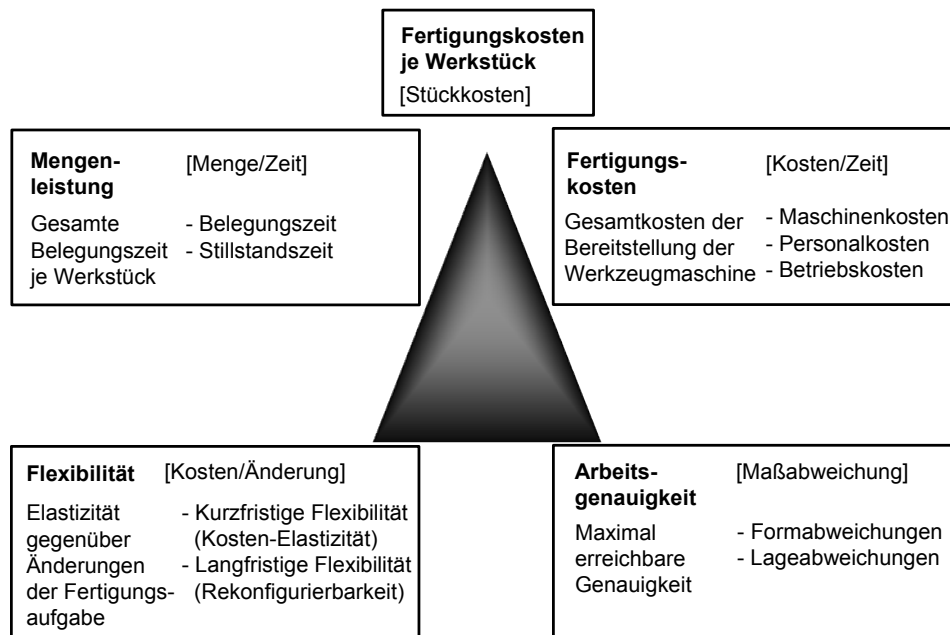


Abbildung 3: Anforderungen an Werkzeugmaschinen⁸

Die Mengenleistung entspricht der Menge an Werkstücken, die durchschnittlich unter Berücksichtigung der Belegungszeit und der Stillstandszeiten in einem bestimmten Zeitintervall bearbeitet werden können. Die Belegungszeit setzt sich wiederum zusammen aus der Betriebsmittel-Rüstzeit und der Betriebsmittel-Ausführungszeit (Zykluszeit). Die Betriebsmittel-Rüstzeit beinhaltet den Zeitaufwand für den Wechsel von Werkzeugen und Spannmitteln, der nicht parallel für die Bearbeitung genutzt werden kann. Die Betriebsmittel-Ausführungszeit setzt sich zusammen aus der eigentlichen Hauptnutzungszeit, während der am Werkstück die gewünschten Veränderungen vollzogen werden, und der Zeit für sonstige vor- und nachbereitende Tätigkeiten, die nicht parallel zur Hauptnutzungszeit durchgeführt werden können, beispielsweise das Einspannen des Werkstücks,

⁸ Eigene Darstellung.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Messvorgänge und das Anstellen des Werkzeugs. Die Mengenleistung lässt sich erhöhen über

1. die Maximierung des Anteils der Hauptnutzungszeit an der Belegungszeit (z.B. über hauptzeitparalleles Beladen, Spannen, Messen und Rüsten) und
2. die Minimierung der benötigten Hauptnutzungszeit je Werkstück (z.B. über Hochgeschwindigkeitsbearbeitung oder die parallele Ausführung mehrerer Bearbeitungsvorgänge am selben Werkstück).⁹

Die Arbeitsgenauigkeit („die von einer Werkzeugmaschine bei der Bearbeitung maximal erreichbare Genauigkeit“¹⁰) und die Flexibilität der Maschine bestimmen das Spektrum der Bearbeitungsschritte und der Werkstücke. Für den Maschinenanwender bedeutet ein breites Anwendungsspektrum, dass er bei wechselnden Fertigungsaufgaben auf die identischen Maschinen zurückgreifen und somit Investitionen, Qualifikationsmaßnahmen und Raum einsparen kann. Gerade wechselnde und nur eingeschränkt prognostizierbare Fertigungsaufgaben sind typische und zunehmende Herausforderungen für die Maschinenanwender aus der Automobilindustrie, dem Flugzeugbau und aus dem allgemeinen Maschinenbau.¹¹

Die Flexibilität einer Werkzeugmaschine beinhaltet zum einen die technologische Dimension:

- bearbeitbare Werkstücke und Werkstoffe,
- einsetzbare Fertigungstechnologien,
- Integrationsfähigkeit in Fertigungssysteme

und zum anderen die Dimension der wirtschaftlichen Mengen in Bezug auf:

- Losgrößen und
- Auslastungen (vgl. Abbildung 4).¹²

Die Flexibilität hinsichtlich der Werkstücke und Werkstoffe hängt ab von der Dimensionierung des Arbeitsraums, von Leistungsparametern wie Spindeldrehzahlen und Spindelleistungen, erzeugbaren Vorschubkräften, Steifigkeiten und auf der Maschine einsetzbaren Werkzeugen. Unterschiedliche Fertigungstechnologien können mittlerweile in der gleichen Maschine integriert werden. Dies geschieht unter anderem durch die Integration mehrerer Werkzeuge in einer Maschine oder auf flexiblen Werkzeugträgern, z.B. Werkzeugrevolver mit optional angetriebenen Werkzeugen oder mit Kombinationswerkzeugen. Zusätzliche Vorteile der Verfah-

⁹ Vgl. Milberg, 1995, S. 24 f.

¹⁰ Milberg, 1995, S. 20.

¹¹ Vgl. Eversheim, 1989, S. 33 ff. und Günther/Tempelmeier, 2000, S. 4 f.

¹² Vgl. Milberg, 1995, S. 28-31.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

rensintegration sind die Steigerung der Arbeitsgenauigkeit durch die Minimierung der Anzahl von Werkstück-Spannvorgängen sowie die Verminderung von Transport- und Handlingzeiten. Wirtschaftlichkeit bei kleineren Losgrößen lässt sich durch geringe Maschinen-Rüstzeiten und –Rüstkosten bewirken. Geringe oder schwankende Auslastungen lassen sich durch die Variabilisierung von Kosten wirtschaftlich darstellen. Dies kann beispielsweise über geringe Investitionssummen oder das (interne oder externe) Pooling mehrerer unabhängig voneinander schwankender Bedarfe gewährleistet werden. Die Integrationsfähigkeit in komplexe Fertigungssysteme betrifft die Einbindung in (möglicherweise automatisierte) Materialflüsse und in übergreifende Steuerungssysteme. Insgesamt wird deutlich, dass Flexibilität vielfältige Aspekte beinhaltet – und dass nicht selten Zielkonflikte zwischen verschiedenen Flexibilitätsaspekten entstehen können.¹³

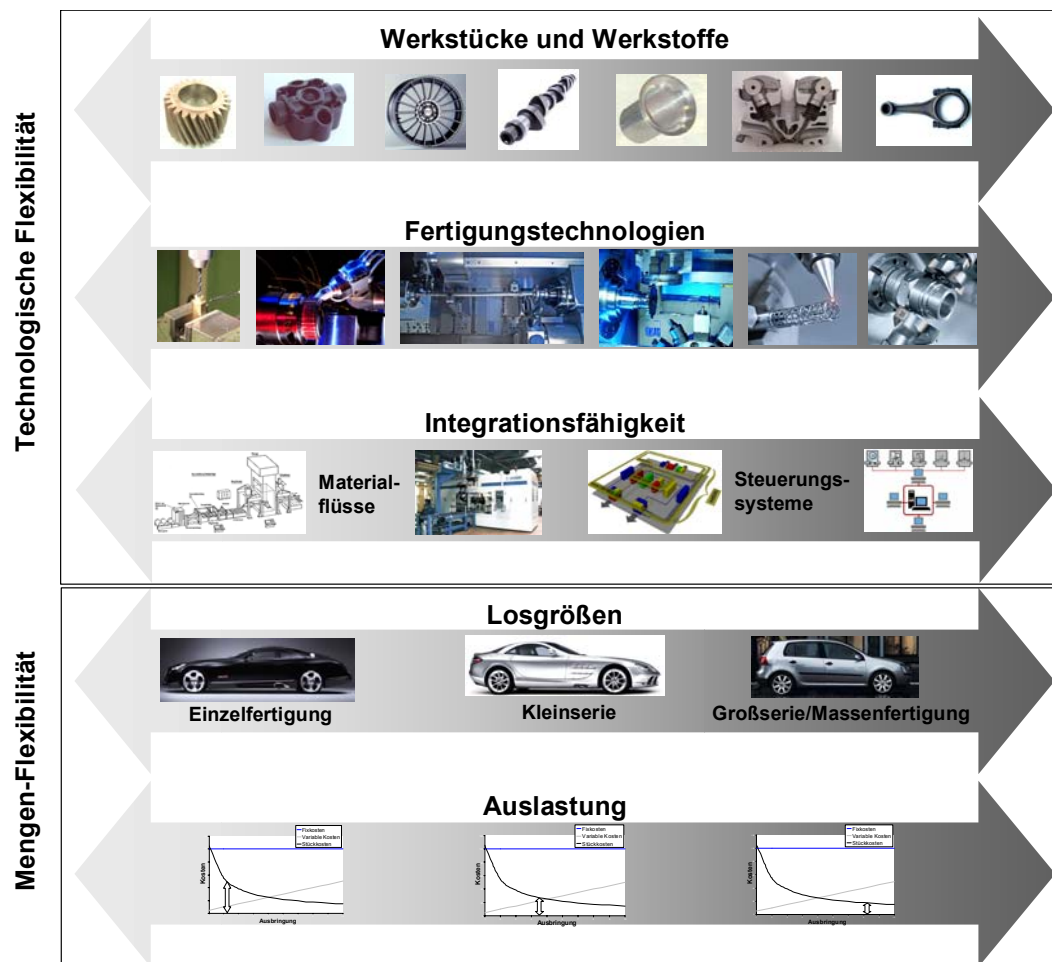


Abbildung 4: Aspekte der Flexibilität einer Werkzeugmaschine¹⁴

¹³ Vgl. Milberg, 1995, S. 28-31.

¹⁴ Eigene Darstellung.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Die Arbeitsgenauigkeit einer Maschine wird potenziell beeinträchtigt durch statische und dynamische, sowie thermische Verformungen und Verlagerung aufgrund von Verschleiß. Ein Maschinenaufbau mit hoher statischer und dynamischer Steifigkeit und Dämpfung sowie kontrollierter Wärmeabfuhr kann Verformungen vermindern. Die Auswirkungen des Verschleißes von Werkzeugen können durch die Erhöhung der Werkzeugstandzeiten, sowie rechtzeitigen Werkzeugwechsel gemindert werden. Ebenso kann dem Verschleiß von Lagern und Führungen durch verschleißarme oder nachstellbare Teile entgegengewirkt werden.¹⁵

In der Zukunft werden für die Hersteller von Werkzeugmaschinen voraussichtlich alle beschriebenen Kategorien eine hohe Bedeutung behalten. Die Maschinenanwender werden jedoch aufgrund des global zunehmenden Wettbewerbsdrucks bei der Beschaffung neuer Werkzeugmaschinen zunehmend die Fertigungskosten je Werkstück als zentrales Entscheidungskriterium betrachten. Damit steigt auch die Bedeutung der Maschinenausnutzung - tendenziell nimmt bei den Maschinenanwendern der Dreischichtbetrieb zu. Die Flexibilität wird zunehmend unter dem Aspekt der Investitionssicherheit betrachtet – ein modularer, rekonfigurierbarer Aufbau wird damit an Bedeutung gewinnen. Aktuell werden zudem die Anforderungen an die Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen kontinuierlich gesteigert durch

- die (kundenindividuelle) Massenfertigung, die standardisierte Toleranzfelder zur Austauschbarkeit aller Teile erfordert,
- die erhöhten Leistungsanforderungen an Produkte, wie beispielsweise einen erhöhten Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren, der stark von der Maßgenauigkeit kritischer Motorkomponenten abhängt und
- die zunehmende Bauraum-Verkleinerung (Miniaturisierung) technischer Systeme.¹⁶

2.3 Innovationen im Werkzeugmaschinenbau

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Abriss über die Innovationen in den vergangenen Jahrzehnten und die zukünftig zu erwartende Entwicklungen gegeben werden.

Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, haben sich über das vorangegangene Jahrhundert hinweg die Leistungsdaten von Werkzeugmaschinen rapide entwickelt. Während zu Beginn des 20. Jahrhunderts die mittlere Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen noch bei einem Millimeter lag, sind mittlerweile Arbeitsgenauigkeiten von einem Mikrometer keine Seltenheit mehr. Auch die erreichbaren

¹⁵ Vgl. Milberg, 1995, S. 20-24 und Hirsch, 2000, S. 44-47.

¹⁶ Vgl. VDW, 2005, S. 15-26; Abele, 2001, S. 8-10; Abele/Wörn, 2004, S. 152-155.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Schnittgeschwindigkeiten haben sich durch Verfahrensoptimierungen und den Einsatz neuer Schneidwerkstoffe enorm verbessert.

Die traditionellen Werkzeugmaschinen wurden manuell von Werkern bedient; die Maschinen deckten jeweils nur einen Bearbeitungsprozess ab (z.B. Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Schleifmaschinen). Die ersten NC-gesteuerten Maschinen wurden zwar in den USA entwickelt, den Durchbruch bei Anwendern schaffte die Mechanisierung und Digitalisierung der Produktionstechnologie jedoch in Europa und Japan (siehe Abbildung 6). Damit einher ging die Konvergenz von bislang getrennten Fertigungsprozessen zu integrierten Bearbeitungszentren.¹⁷

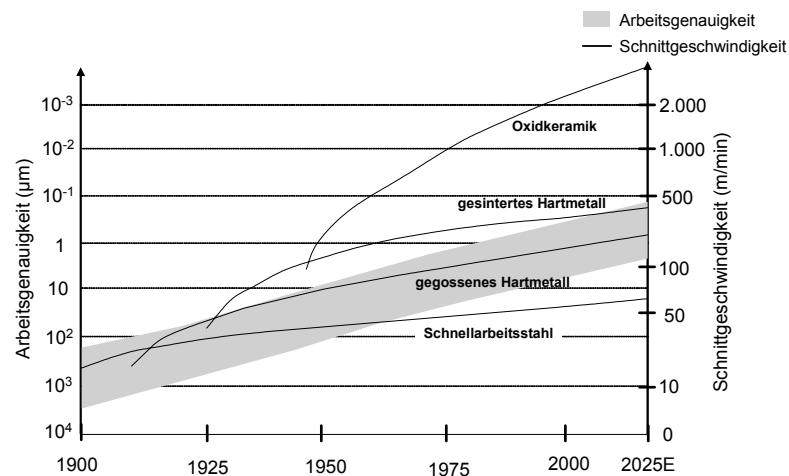


Abbildung 5: Arbeitsgenauigkeit und Schnittgeschwindigkeit von Werkzeugmaschinen: Entwicklungstendenz¹⁸

Entscheidenden Anteil an der Revolutionierung der Werkzeugmaschinen hatten die Hersteller von Steuereinheiten. Während bei NC-gesteuerten Maschinen die Steuerprogramme in der Hardware integriert waren, lösten sich die Programme bei CNC-gesteuerten Maschinen von der Hardware und konnten flexibel auf jeden Maschinentyp übertragen werden. Für die Kunden der Werkzeugmaschinen-Hersteller bestanden die Vorteile im erhöhten Automatisierungsgrad (z.B. Mehrmaschinenbedienung), der Flexibilität in der Werkstückbearbeitung und in der größeren Fertigungsgenauigkeit. Selbst in der Massenfertigung, beispielsweise in der Automobilindustrie, wurde Flexibilität zum Erfolgskriterium – gefordert durch die Zunahme der Modellvielfalt, die Verkürzung der Modellzyklen und die Notwendigkeit für Automobilzulieferer, auf der gleichen Fertigungslinie mit kurzen Rüstzeiten Produkte für verschiedene Automobilhersteller zu fertigen.¹⁹

¹⁷ Vgl. Arnold, 2001, S. 1-46; Beck, 1997.

¹⁸ Milberg, 1995, S. 13, Fortschreibung bis zum Jahr 2025 extrapoliert.

¹⁹ Vgl. Arnold, 2001, S. 1-46.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

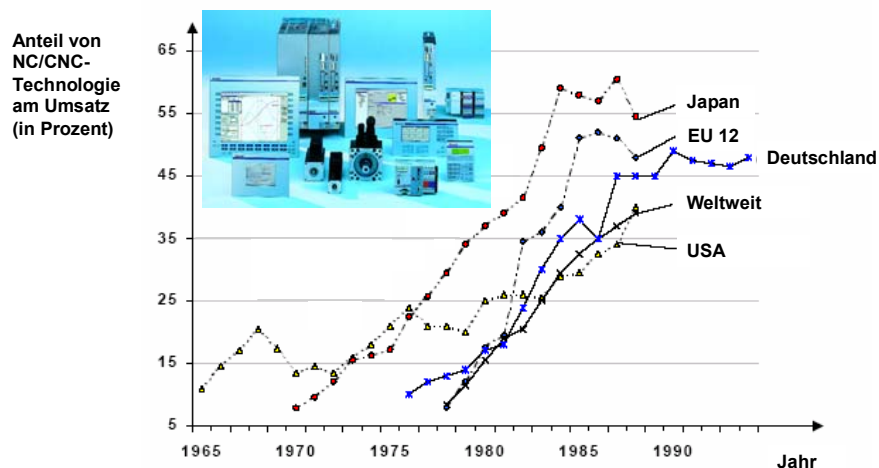


Abbildung 6: Verbreitung der NC/CNC-Technologie²⁰

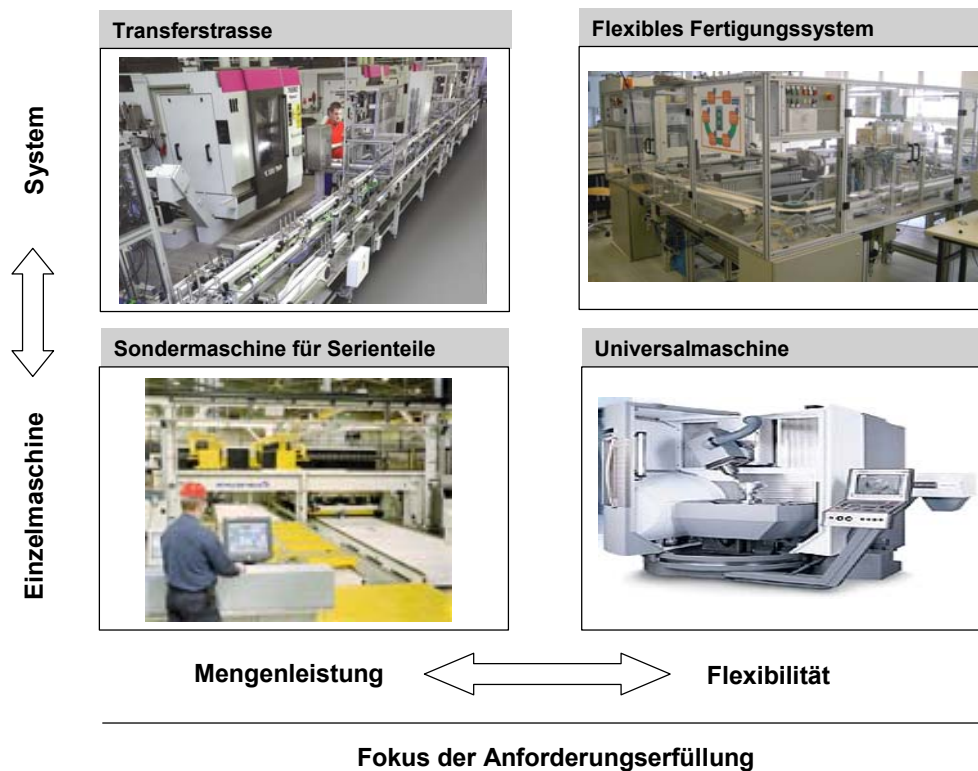


Abbildung 7: Maschinenkonzepte im Spannungsfeld zwischen Mengenleistung und Flexibilität²¹

Aufgrund des Spannungsfelds zwischen den vier grundlegenden Anforderungsdimensionen (vgl. Abbildung 3) haben sich unterschiedliche Maschinenkonzepte he-

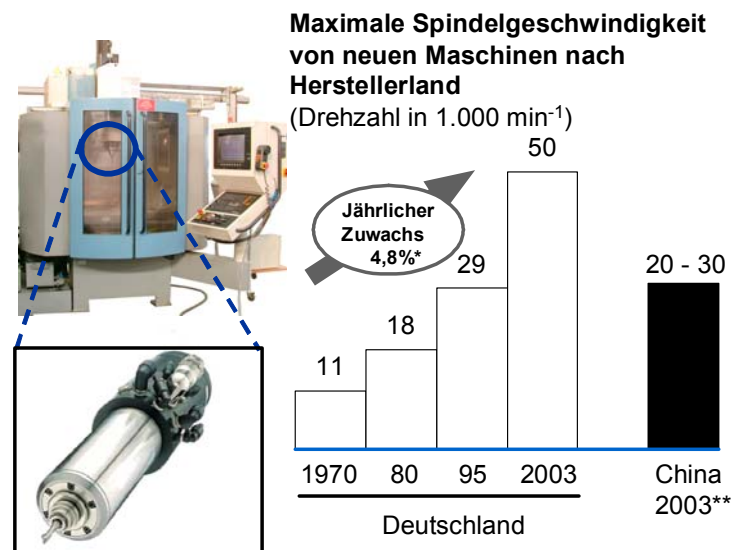
²⁰ Arnold, 2001, S. 41.

²¹ In Anlehnung an: Abele/Wörn, 2004, S. 153; Weck, 1998, S. 19 und S. 20; Horn/Stanik, 2005, S. 24.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

rausgebildet. Insbesondere der Zielkonflikt zwischen Mengenleistung (in der Regel mit hoch werkstückspezifischer Auslegung verbunden) und Flexibilität (die häufig den Vorhalt von Überkapazitäten erfordert) führte zu diametralen Konzepten (vgl. Abbildung 7).

Der Innovationsdruck ist aktuell im Werkzeugmaschinenbau unverändert hoch. Vorherrschende Trends bei den Fertigungstechnologien sind beispielsweise die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (vgl. Abbildung 8)²², die Trockenbearbeitung, die Hartbearbeitung, die Bearbeitung miniaturisierter Werkstücke²³ und die Laserbearbeitung. Bei Werkzeugmaschinen ist die Innovationstätigkeit besonders hoch in den Gebieten der Komplettbearbeitung²⁴, bei rekonfigurierbaren Fertigungssystemen²⁵ und bei durchgängigen CAX-Verfahrensketten²⁶. Jeder der angesprochenen Trends trägt zur Anforderungserfüllung in mindestens einer der im vorhergehenden Abschnitt definierten Kategorien bei (vgl. Tabelle 1).²⁷



* Im Durchschnitt; für HSK 32 (geschmierte Lager, 40 mm Durchmesser)
** Schätzung basierend auf einer Analyse von > 250 Maschinen im Angebot chinesischer Hersteller
Quelle: Abele, Institut PTW (Versuchsergebnisse, geschmierte Rollenlager), ProNet-Studie

Abbildung 8: Entwicklung der Drehzahl von Motorspindeln

²² Vgl. Abele, 2001, S. 8-10.

²³ Vgl. Abele/Stanik, 2002, S. 22-24.

²⁴ Vgl. Ellermeier/Tschannerl/Mehr, 2002, S. 10-14.

²⁵ Vgl. Abele/Wörn, 2004, S. 152-155; Fili, 2004, S. 42 ff.

²⁶ Vgl. Abele/Stroh/Gyldenfeldt, 2002, S. 42-43.

²⁷ Vgl. VDW, 2005, S. 15-26.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Innovation im Bereich ..	Neue Technologien	Anforderungen			
		Fertigungs-kosten	Mengen-leistung	Arbeits-genauigkeit	Flexibilität
Fertigungs-technologien	High Performance Cutting				
	High Speed Cutting				
	Trockenbearbeitung				
	Hartbearbeitung				
	Laserunterstützung				
	Mikrobearbeitung				
Fertigungs-systeme	Rekonfigurierbare Mehrtechnologiemaschine				
	Komplettbearbeitung				
	Durchgängige CAX-Verfahrenskette				
	Primärer Einfluss		Sekundärer Einfluss		

Tabelle 1: Erfüllung von Anforderungen durch neue Fertigungstechnologien²⁸

2.4 Phasen des Produktentstehungsprozesses im Werkzeugmaschinenbau

Bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen gibt es einige Besonderheiten, die Werkzeugmaschinen sowohl von allgemeinen Industriegütern, als auch von anderen Sparten des Maschinenbaus abheben (vgl. Abbildung 9).²⁹ Der Produktentstehungsprozess von der Baureihe zur Herstellung der Kundenmaschine gliedert sich in die Phasen:³⁰

1. **Marktanalyse:** Die Entwicklung einer neuen Baureihe beginnt mit der Analyse der Kundenbedürfnisse und des erreichbaren Marktpotenzials. Falls die Wirtschaftlichkeit des Baureihenkonzeptes und die Vereinbarkeit mit dem bestehenden Produktprogramm bestätigt werden, kann der Entwurf beginnen.
2. **Entwurf / Design:** Der Baureihenentwurf skizziert die grundlegende Maschinenarchitektur, wie beispielsweise die Positionierung von Verfahrsachsen, die Art des eingesetzten Werkzeugsystems und die Optionen der Materialzuführung. Zudem werden kritische Abmessungen und die äußere und

²⁸ Eigene Darstellung.

²⁹ Vgl. Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 4.

³⁰ Vgl. Siegler, 1998, S. 1 ff.; Sanft, 1995, S. 11 ff.; Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 7.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

innere Gestaltung nach fertigungstechnischen und ergonomischen Gesichtspunkten festgelegt.

3. **Konstruktion:** In der Konstruktion erfolgt die Detaillierung des Entwurfs in enger Kooperation der Fachdisziplinen Mechanik, Hydraulik, Pneumatik, Software und Elektrik. Im Ergebnis entstehen Stücklisten und Zeichnungen, die bereits für die Fertigung geeignet sind. Teilweise werden bereits in der Konstruktion Varianten generiert, z.B. in Bezug auf die Größe zu verarbeitender Werkstücke, die Anzahl von Spindeln oder bestimmte Kundenkreise.

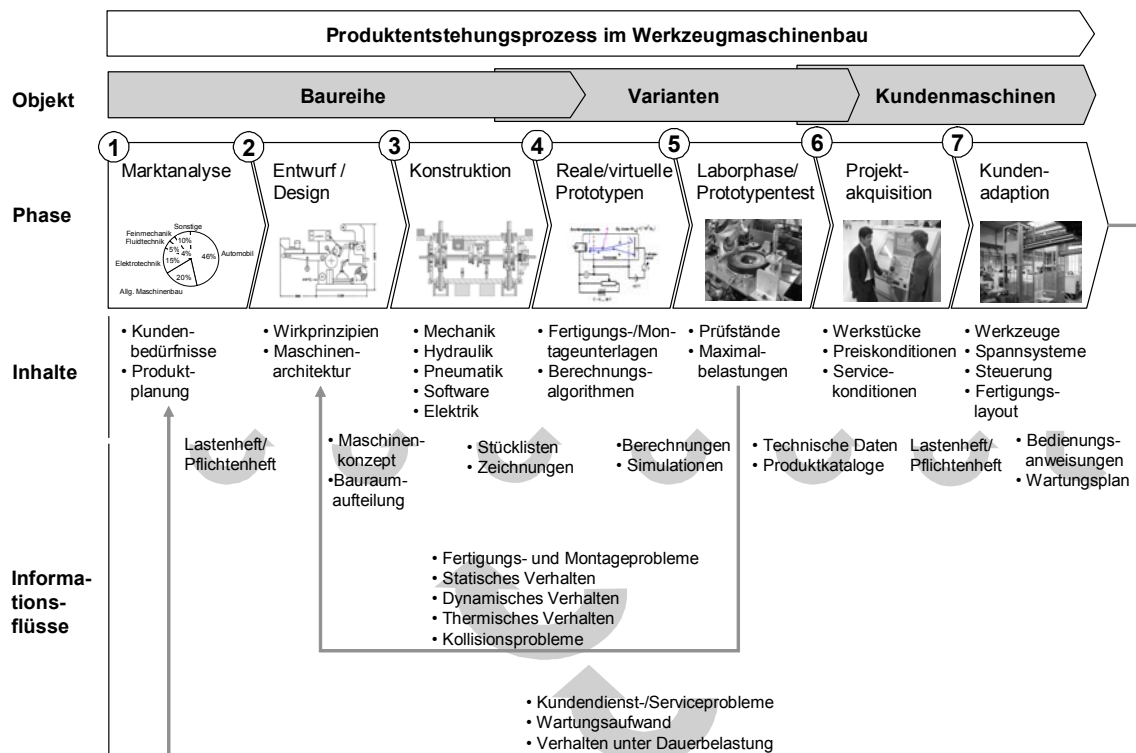


Abbildung 9: Produktentstehungsprozess im Werkzeugmaschinenbau: Phasen und Informationsflüsse³¹

4. **Reale / virtuelle Prototypen:** Anschließend erfolgt die Herstellung realer und virtueller Prototypen. Aufgrund der hohen Komplexität der konstruierten dynamischen Systeme und der Vielfalt der Fertigungsaufgaben ist diese Phase meist unerlässlich.
5. **Laborphase / Prototypentests:** In der Testphase greifen die Werkzeugmaschinenhersteller sowohl auf Berechnungs- und Simulationssoftware, als auch auf Maschinenlabore zurück. In einigen Fällen erfolgen bereits Tests bei ausgewählten Pilotkunden.

³¹ Vgl. auch Sanft, 1995, S. 11; Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 7.

6. **Projektakquisition:** Auf der Grundlage technischer Daten und Produktkataloge werden Maschinenanwender als Kunden akquiriert. Im Werkzeugmaschinenbau beruhen Kaufverträge aufgrund des hohen Investitionsvolumens und den langen Nutzungsdauern der Maschinen oft auf langfristigen Kundenbeziehungen.
7. **Kundenspezifische Adaption:** In einer Adaptionphase werden die entwickelten Grundmaschinen in vielen Fällen in Zusammenarbeit mit den Maschinenanwendern zu kundenspezifischen Maschinen weiterentwickelt (kundenspezifisches Engineering). Diese Adaptionen beziehen sich auf die Integration in umfassendere Fertigungssysteme. Beispielsweise werden werkstückspezifische Spann- und Werkzeugsysteme, sowie individuelle Materialfluss- und Steuerungskonzepte entwickelt. Daneben werden jedoch auch Universalmaschinen angeboten, die weitgehend nach Katalog bestellt und nicht spezifisch modifiziert werden.

Folgende für den Werkzeugmaschinenbau spezifische Besonderheiten sind im Produktentstehungsprozess zu erkennen:

- **Verknüpfung von Fachdisziplinen:** Sehr unterschiedliche technische Fachgebiete sind in die Entwicklungsvorgänge involviert. Die Wirkungsmechanismen und die räumliche Anordnung der Komponenten sind so eng verknüpft, dass eine isolierte Entwicklung beispielsweise der Mechanik oder der Software nicht möglich ist.³² Es gibt nur wenige Konstrukteure, die in allen Disziplinen gleich versiert sind – somit erfordert die Entwicklung eine enge Zusammenarbeit der Fachrichtungen.
- **Hoher Kundenbezug:** Neue Werkzeugmaschinen können nur erfolgreich sein, wenn sie auf die zukünftigen Bedürfnisse der Maschinenanwender eingehen. Diese Anwender sehen sich selbst hohen und steigenden Bedürfnissen ihrer eigenen Kunden ausgesetzt und geben den Optimierungsdruck an ihre Betriebsmittel-Hersteller weiter (vgl. zu den Kundenanforderungen Abschnitt 2.1). Im Werkzeugmaschinenbau ist die Prognose von Kundenbedürfnissen besonders anspruchsvoll, da die Wirkungskette von den Endprodukten zur Produktionstechnologie lang ist. Beispielsweise erhöht der Druck zur Individualisierung von Fahrzeugen über die Wirkungskette Automobilhersteller – Automobilzulieferer (evt. mehrere Stufen) – Werkzeugmaschinen-Hersteller den Bedarf nach flexiblen Fertigungssystemen mit kurzen Rüstzeiten.³³

³² Vgl. beispielsweise zum engen Zusammenspiel zwischen Sensorik und Steuerung insbesondere bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung: Abele/Schulz/Sahm/Versch, 2002.

³³ Vgl. Abele/Fürderer, 2005, S. 26.

- **Bedeutung der Funktionsvalidierung:** Die Entwicklung von Werkzeugmaschinen ist sehr test- und prüfstandsintensiv. Statisches, dynamisches und thermisches Verhalten der Maschine lassen sich bislang nur teilweise über Berechnungen und Erfahrungswerte prognostizieren.³⁴ Damit ist die Validierungsschleife über den Prototypenbau von kritischer Bedeutung. Da Arbeitsplanung und der Bau von Prototypen ebenso wie die eigentliche Konstruktion einige Wochen bis Monate in Anspruch nehmen, erhöhen sie die Entwicklungsdauer oft beträchtlich und verursachen hohe Entwicklungskosten.
- **Hohe Fertigungstiefe und standardisierte Zukaufteile:** Im Werkzeugmaschinenbau liegt die Fertigungstiefe, also der eigene Wertschöpfungsanteil am Umsatz, in der Regel deutlich über 50%, während er beispielsweise in der Automobilindustrie mittlerweile weit unter 35% liegt. Dies hängt mit der hohen Interdependenz und Innovationsgeschwindigkeit der einzelnen Module zusammen. Wie aus Abbildung 9 ersichtlich, hängt die Konstruktion stark von Rückkopplungen aus der Arbeitsplanung und dem Prototypenbau ab – somit ist für die meisten Hersteller eine relativ hohe Eigenfertigungstiefe sinnvoll. Standardisierte Zuliefererumfänge sind jedoch beispielsweise Steuerungen, Lager, Führungen und Blechteile. Zudem gibt es spezialisierte Zulieferer z.B. für Hydraulik-Komponenten, Werkzeug-Revolver, Spindeln und Spannvorrichtungen.

2.5 Auswirkungen der Globalisierung auf den Werkzeugmaschinenbau

Es ist zu erwarten, dass die Zunahme der Globalisierung einen erheblichen Einfluss auf die Anforderungen an Entwicklungsaktivitäten im Werkzeugmaschinenbau haben wird. Die Globalisierung der Wirtschaft hat Auswirkungen auf alle Bereiche der Wertschöpfungskette im Werkzeugmaschinenbau – die Entwicklung, die Produktion und den Absatz. Im Folgenden werden die Triebkräfte für die Globalisierung der drei Bereiche der Wertschöpfungskette und zukünftig zu erwartende Entwicklungen speziell im Werkzeugmaschinenbau und aus deutscher Perspektive kurz beleuchtet.

2.5.1 Globalisierung der Absatzmärkte

Die Anforderungen an Werkzeugmaschinen werden abhängig vom Einsatzstandort, also dem Produktionsstandort des Kunden, unterschiedlich priorisiert. An Niedriglohnstandorten ist beispielsweise die Bedeutung der Personalkosten wesentlich geringer und damit ein hoher Automatisierungsgrad weniger lohnens-

³⁴ Vgl. Weck/Queins/Witt, 2003, S. 37.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

wert. Zudem ist das Qualifikationsniveau der Maschinenbediener standortabhängig. Darüber hinaus können weitere lokale Bedingungen, wie das Klima im Einsatzland, eine große Rolle spielen. Beispielsweise verlangt der Werkzeugmaschinenereinsatz in Südostasien aus klimatischen Gründen (Wärme und Luftfeuchtigkeit) geeignete Führungs- und Schmiersysteme (vgl. Tabelle 2).

Länderspezifische Parameter	Anforderung	Länder-Relevanz (Beispiele)
Faktorkosten	Hoher Automatisierungsgrad aufgrund hoher Lohnkosten	Westeuropa, USA
	Geringer Automatisierungsgrad aufgrund geringer Lohnkosten	China, Osteuropa
	Vermeidung von Materialverschnitt aufgrund hoher Rohmaterial-Kosten	USA, Mexiko
Klima	Betrieb unter hoher Luftfeuchtigkeit und hohen Außentemperaturen	Südostasien, Südamerika
Betriebsstoffversorgung	Anpassung an lokale Netzspannungen, Vorsorge für Stromausfälle	Indien, China
Normen	Übereinstimmung mit nationalen Normen, z.B. in Bezug auf Ergonomie, Arbeitsschutz und Umweltschutz	EU, USA
Personal	Einfache Bedienbarkeit für gering qualifizierte Maschinenbediener	China, USA

Tabelle 2: Beispiele für länderspezifische Anforderungen an Produktionstechnologie³⁵

In den letzten Jahren hat die Bedeutung asiatischer Länder als Importeure von Werkzeugmaschinen stark zugenommen. Insbesondere China und Taiwan haben aufgrund des Aufbaus und der Kapazitätserhöhung der dortigen Produktionsstätten verstärkt globale Nachfrage erzeugt. Die USA und Japan sind zu ihrem früheren, hohen Verbrauchsniveau zurückgekommen. Gerade der exportorientierte deutsche Werkzeugmaschinenbau muss sich dieser Entwicklung stellen und Maschinen entwickeln, die den spezifischen Anforderungen der neuen Anwender gerecht werden. Steigerungspotenziale lassen sich beispielsweise in Japan, Taiwan und Kanada ausmachen (vgl. Abbildung 10). Auf der anderen Seite ist der Vertrieb deutscher Maschinen in den USA, in China, sowie in Frankreich und Spanien bereits sehr erfolgreich.

³⁵ Eigene Darstellung.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

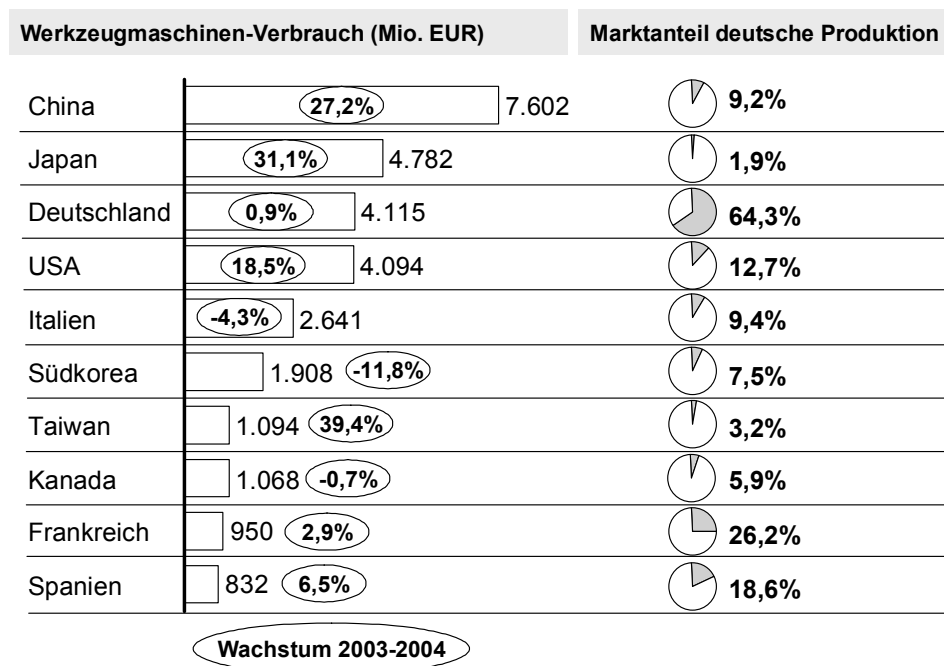


Abbildung 10: Marktanteile deutscher WZM-Produktion in Top 10-Verbraucherländern (ohne Teile und Zubehör, 2004)³⁶

2.5.2 Globalisierung der Produktion

Seit den 80er und 90er Jahren dominieren deutsche und japanische Hersteller den Weltmarkt. Italienische und schweizerische Produzenten sind ebenfalls auf einem hohen Niveau auf dem Weltmarkt vertreten. Während deutsche Hersteller sich auf kundenbezogene Fertigungslösungen, innovative Fertigungstechnologien und Materialfluss-Verkettungen spezialisierten, waren für viele japanische Hersteller bislang kostengünstige Universalmaschinen mit fortgeschrittenen CNC-Steuerungen der Schwerpunkt des Produktprogramms.

Neue Wettbewerber sind in den vergangenen Jahren in der VR China und in Taiwan im Zuge des starken industriellen Wachstums in Asien entstanden. Die Wettbewerber aus der VR China treten allerdings noch nicht in großem Umfang als Exporteure auf und haben technologisch bislang noch einen gewissen Aufholbedarf.³⁷

Ein für die Produktion von Maschinen besonders relevanter Kostenanteil sind neben den Kosten der Zukaufteile und des Rohmaterials die Arbeitskosten. Die Produktion in Niedriglohnländern eröffnet darüber hinaus Einsparpotenziale in der

³⁶ Vgl. VDW, 2006, S. 62 ff. Aufgrund der starken Zyklicität der Investitionsgüterbranche Werkzeugmaschinenbau können die Wachstumsraten eines Jahres nicht in die Zukunft fortgeschrieben werden.

³⁷ Vgl. VDMA/Impuls-Stiftung, 2004, S. 3-7; Abele, 2004, S. 3.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Beschaffung durch den besseren Zugang zu den dortigen Lieferanten. Dennoch produzieren deutsche Werkzeugmaschinenhersteller noch überwiegend innerhalb Deutschlands. Dies hängt mit den hohen Qualifikationsanforderungen an Produktionsmitarbeiter auf der einen Seite und mit der Notwendigkeit der engen Kommunikation zwischen Entwicklungs- und Produktionsabteilungen auf der anderen Seite zusammen. Ein Kostensenkungspotenzial aus der Verlagerung von Teilen der Produktion lässt sich nur in Ländern erschließen, die bereits einen genügenden Ausbildungsstand bei noch relativ geringen Lohnsätzen aufweisen. Diese beiden Voraussetzungen treffen bereits auf einige der neuen EU-Beitrittsländer und auf einige mittlerweile hoch industrialisierter Regionen Asiens zu.

Zusätzlich getrieben von einer hohen lokalen Nachfrage nach Produktionstechnologie, wird für genau diese Länder ein starkes Wachstum der Wertschöpfung im Werkzeugmaschinenbau prognostiziert. Bis zum Jahr 2024 wird für einige Länder, allen voran Tschechien, Taiwan und China mit einer erheblichen Zunahme der Wertschöpfung gerechnet (vgl. Abbildung 11).

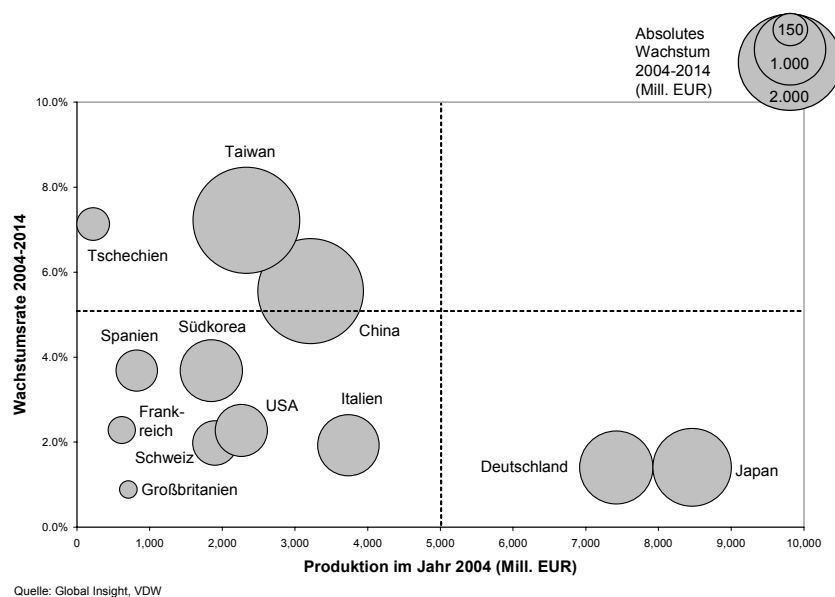


Abbildung 11: Produktionsvolumen und prognostizierte Wachstumsraten des Werkzeugmaschinenbaus (2004 bis 2014)

Diese Steigerung des Wertschöpfungsanteils in Niedriglohnländern wird sowohl

- (1) von der Verlagerung aus Hochlohnländern, als auch
- (2) von der Absatzsteigerung dort ansässiger Produzenten gestützt werden.

Ein Beispiel für den Aufbau von Produktionskapazitäten in Niedriglohnländern sind die Aktivitäten der Gildemeister AG mit Hauptsitz in Bielefeld. Im Jahr 1999 übernahm Gildemeister die Aktienmehrheit an dem größten Hersteller für span-

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

abhebende Werkzeugmaschinen in Polen, der Famot-Pleszew S.A mit ca. 470 Mitarbeitern und ca. 15 Mio. EUR Jahresumsatz. Die Akquisition diente sowohl dazu, den Zugang zum osteuropäischen Absatzmarkt zu verbessern, als auch eine kostengünstige Beschaffung für den Gesamtkonzern sicherzustellen. So wurde die polnische Tochtergesellschaft zum Spezialisten für die Herstellung von Rumpfmaschinen (dazu zählen das Maschinenbett, Führungen, Antriebe, Schlitten, Tische, Verkleidungsteile und Abdeckungen) ausgebaut. Ein weiteres Beispiel ist der Produktionsstandort von Gildemeister in Shanghai. Hier gelang es, durch die lokale Präsenz den Anteil an lokal gefertigten Zukaufteilen eines Bearbeitungszentrums auf ca. 80% zu steigern und damit in hohem Umfang Einsparpotenziale zu erschließen (vgl. Abbildung 12).³⁸

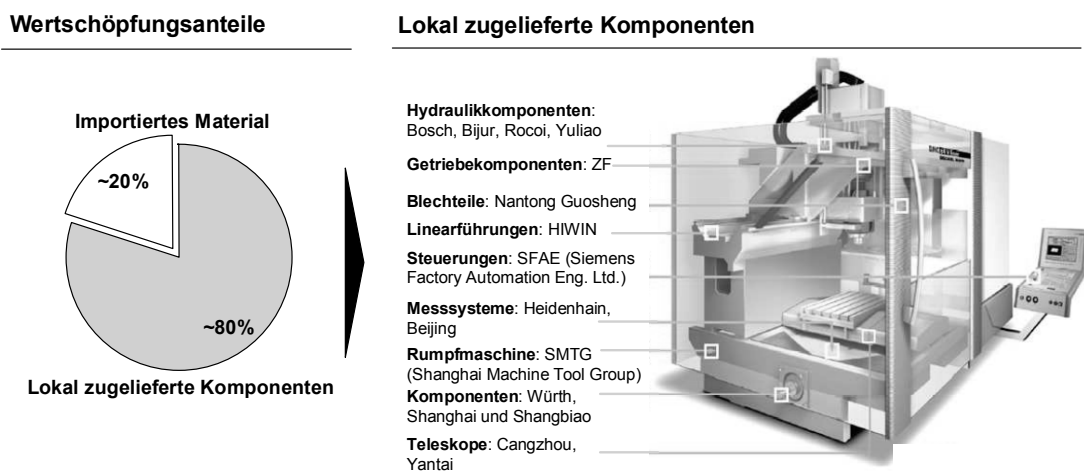


Abbildung 12: Lokalisierung von Zukaufkomponenten in China am Beispiel eines Bearbeitungszentrums³⁹

Bestes Beispiel für das von lokalen Produzenten erzielte Wachstum des Produktionsvolumens in aufstrebenden Industrieländern ist Taiwan. Mittlerweile exportieren taiwanesischen Hersteller bereits in höherem Umfang als die USA und die Schweiz. Die Wertschöpfung wird in Taiwan, noch stärker als allgemein im Werkzeugmaschinenbau, von mittelständischen und Klein-Unternehmen erbracht. So entfallen nur 27% der Produktion auf die größten neun Hersteller, selbst der Jahresumsatz des größten Herstellers liegt bei nicht viel mehr als 100 Mio. USD (vgl. Abbildung 68, S. 136 im Anhang).⁴⁰

³⁸ Gildemeister AG, 2004; Gildemeister AG, 2005.

³⁹ Lechner, 2004, S. 18 (dargestellte Maschine: Gildemeister DMC 64 V linear).

⁴⁰ Vgl. Common Wealth, 2004.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Die taiwanesischen Hersteller exportierten im Jahr 2004 78% der produzierten Werkzeugmaschinen. Knapp die Hälfte der exportierten Erzeugnisse wurde von der Volksrepublik China und Hongkong nachgefragt. Immerhin etwas über 20% des Exportvolumens ging im Jahr 2004 in die USA, nach Japan oder nach Westeuropa (vgl. Abbildung 67, S. 136 im Anhang). Unter den exportierten Maschinentypen sind auch hochwertigere Maschinen, wie Bearbeitungszentren (Durchschnittspreis 42.000 USD) und NC Drehmaschinen (Durchschnittspreis 35.000 USD) zu finden – diese haben am Exportvolumen einen Anteil von etwa 38%.⁴¹

2.5.3 Globalisierung der Entwicklung

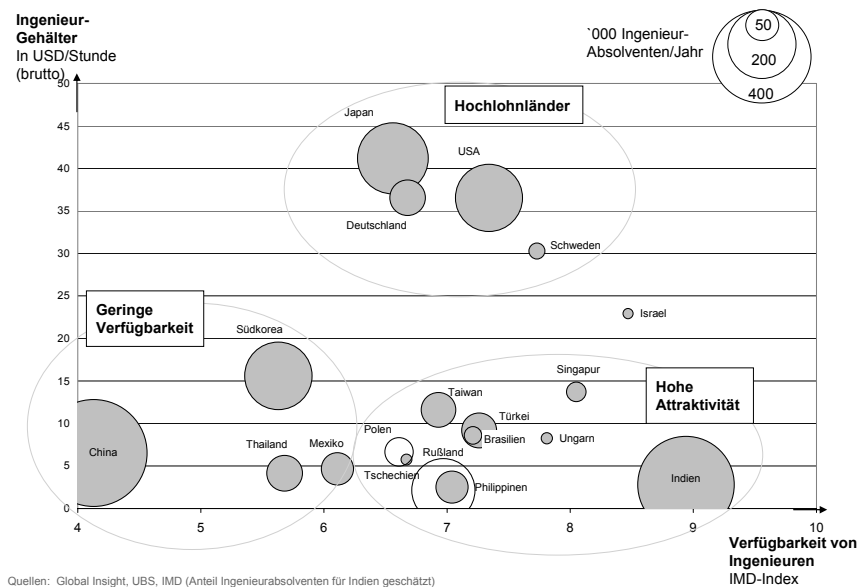


Abbildung 13: Globaler Arbeitsmarkt für Ingenieure: Gehälter und Verfügbarkeit

Wichtigste Ressource für die Innovation im Werkzeugmaschinenbau sind hochqualifizierte und erfahrene Konstrukteure. Die Verfügbarkeit dieser Mitarbeiter in einer Region ist entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Hersteller auf dem Weltmarkt. Die Personalkosten spielen in der Forschung und Entwicklung im Vergleich zur Produktion eine geringere Rolle. Zum einen liegt der Anteil der F&E-Aufwendungen am Umsatz im Werkzeugmaschinenbau bei nur etwa 4-7%, zum anderen können Gehaltsunterschiede gerade in diesem Bereich durch Qualitäts- und Produktivitäts-Unterschiede leicht kompensiert werden. Niedriglohnländer mit einer hohen Verfügbarkeit von Ingenieuren und hohen jährlichen Absolventenzahlen sind insbesondere Indien, Russland, Polen, die Türkei und Taiwan (vgl. Abbildung 13). Dieser Befund ist allerdings in Bezug auf den

⁴¹ Vgl. Taiwan Association of Machinery Industry, 2005 (siehe auch: www.tami.org).

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

Werkzeugmaschinenbau eher als Potenzial für die langfristige Sicht zu sehen. Noch im Aufbau befindlich sind in diesen Ländern umfangreiche Netzwerke von Herstellern und Lieferanten, sowie ein Pool von Konstrukteuren mit langjährigem Erfahrungsschatz und eine fundierte, praxisnahe universitäre Ausbildung.⁴²

Eine Auswahl der im September 2005 auf der EMO in Hannover (weltweite Leitmesse für spannende Werkzeugmaschinen) vorgestellten Innovationen belegt indikativ die Dominanz der traditionellen Wissenszentren des Werkzeugmaschinenbaus (vgl. Abbildung 14 und Tabelle 10 im Anhang). Die Mehrheit der wichtigen technologischen Innovationen wurde in den Ländern Deutschland, Japan, Italien und der Schweiz erreicht. Die Innovationsaktivität bei den Werkzeugmaschinen-Zulieferern (z.B. Schneidstoffe, Steuerungen und Spindeln), sowie einige Entwicklungskooperationen zeigen zudem die Bedeutung von unternehmensübergreifenden und lokal konzentrierten Entwicklungsnetzwerken auf.

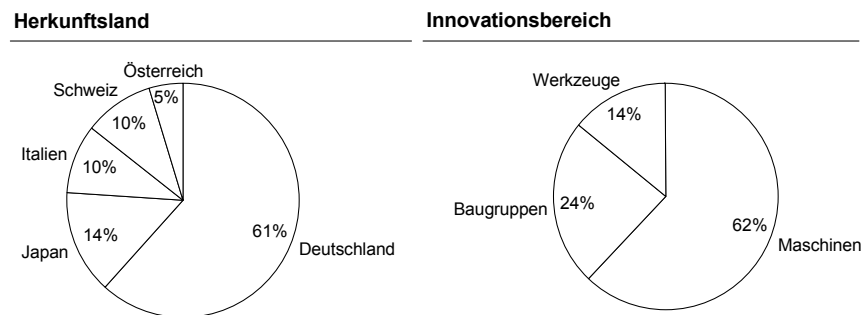


Abbildung 14: Herkunft und Bereich von Innovationen im Werkzeugmaschinenbau: Statistische Auswertung auf der Industriemesse EMO 2005 vorgestellter Innovationen⁴³

In den letzten Jahren zu beobachtende Tendenzen von Herstellern aus Entwicklungsländern, insbesondere China, zur Übernahme von Herstellern aus Industrieländern dienen dazu, den Innovationsvorsprung der traditionellen Wissenszentren gezielt zu nutzen und die Entwicklung eigener technologischer Kompetenz zu beschleunigen.⁴⁴

⁴² Beispielsweise ist die Ausbildung von Ingenieuren in China noch vergleichsweise praxisfern (vgl. Abele/Bitzer, 2004).

⁴³ Eigene Darstellung, vgl. Tabelle 10 im Anhang (S. 136).

⁴⁴ Zu nennen sind beispielsweise die Übernahme der deutschen Herstellers Schieß, sowie Burkhardt und Weber durch den chinesischen Hersteller Shanghai Machine Tool Group und Mehrheitbeteiligungen der Harbin Measuring & Cutting Tool Group am deutschen Hersteller Kelch sowie der Dalian Machine Tool Corporation am Unternehmen Zimmermann.

2.6 Anforderungen an den Produktentstehungsprozess

Aus den beschriebenen Spezifika der Werkzeugmaschinen-Entwicklung ergeben sich wichtige Anforderungen an den Produktentstehungsprozess:

- **Schnittstellen- und Projektmanagement:** Die Vielzahl von Schnittstellen (vgl. Informationsflüsse auf Abbildung 9) zwischen den Entwicklungsphasen und Fachdisziplinen verlangt eine wohldurchdachte Aufgabenteilung und die Koordination durch ein hoch qualifiziertes Projektmanagement.
- **Enge Zusammenarbeit mit Maschinen-Anwendern:** Aufgrund der, wie beschrieben, langen Wirkungskette vom Produktionssystem zum Endprodukt, ist die Zusammenarbeit mit Kunden in einer frühen Entwicklungsphase besonders wichtig.⁴⁵ Die Kunden bzw. eventuell sogar die Kunden der Kunden haben ein präziseres Bild von zukünftig zu erwartenden Anforderungen (beispielsweise neue Werkstoffe, neue Fertigungstechnologien, neue Werkstück-Geometrien).⁴⁶
- **Werkzeuge zur Funktionsvalidierung:** Da die Validierung der Funktionalität einen großen Einfluss auf die Entwicklungsdauer und die Produktqualität hat, ist auf die Auswahl und Anwendung leistungsfähiger Validierungs-Werkzeuge wie Berechnungen und Simulationen Wert zu legen. Für die Entwicklungsleitung ist es wichtig, über diese Werkzeuge jederzeit die Transparenz über den technischen Reifegrad des Konstruktionsstandes zu behalten, um gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Einhaltung der Zeit- und Qualitätsziele ergreifen zu können.
- **Enge Zusammenarbeit mit der Produktion:** Die Entwicklung sollte mit der Produktion eng verzahnt arbeiten, um die Zeit bis zum fertigen Prototyp zu reduzieren und die Qualitäts- und Kostenziele bereits beim ersten Prototypen zu erreichen.
- **Entwicklungsbegleitende Kosten-Transparenz:** Erst nach der Endmontage des Prototypen können mit hohem Sicherheitsniveau Aussagen über das Erreichen der Kostenziele gemacht werden. Dann ist es jedoch zu spät für tiefgreifende Konzept-Änderungen und funktionale Anpassungen. Somit ist es dringend notwendig, frühzeitig Transparenz über die zu erwartenden Herstellkosten zu erreichen. Dies kann nur über eine kontinuierliche entwicklungsbegleitende Kalkulation sichergestellt werden.

⁴⁵ Vgl. Abele/Fürderer, 2005, S. 27.

⁴⁶ Prognosen mit Hilfe der Szenario-Technik und Delphi-Befragungen erlauben in der Regel nur recht allgemeine und ungefähre Schlussfolgerungen, vgl. Gausemeier/Stollt/Dreher/Kinkel, 2005.

2 Anforderungen an Produkte und Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau

- **Verteilte Entwicklung:** Die Globalisierung nimmt insbesondere in der Produktion und im Absatz von Werkzeugmaschinen stark zu und dies wird sich voraussichtlich in den nächsten Jahren fortsetzen. Für die Produktentstehungsprozesse bedeutet dies, dass in Zukunft in noch höherem Maße eine Zusammenarbeit mit neuen Maschinenanwendern aus dem Ausland auf der einen Seite und mit Zulieferern aus Niedriglohnländern auf der anderen Seite notwendig wird. In beiden Fällen ist eine lokale Präsenz vor Ort unvermeidlich – da jedoch auf absehbare Zeit die Entwicklungszentren in Deutschland verbleiben, werden der Informationsaustausch über Entfernung und die Mobilität der Entwicklungsmitarbeiter in ihrer Bedeutung stark zunehmen.

3 Stand der Erkenntnisse

3.1 Allgemeine Benchmarking-Methodik

Zielsetzung

Die Benchmarking-Methodik verfolgt eine doppelte Zielsetzung:

1. Quantifizierung von Leistungslücken ("Benchmark-Lücken") durch Setzung anspruchsvoller Leistungsziele ("Benchmarks"⁴⁷) und
2. Deduktion von Maßnahmen ("Best Practices") zur Schließung von Leistungslücken ("benchmarkorientierte Optimierung").

Objekte der Benchmarking-Methodik sind Produkte, Prozesse, Organisationen und Strategien.⁴⁸ Die erste in der Literatur bekannt gewordene erfolgreiche Anwendung des Benchmarking fand 1979 im Fertigungsbereich der Xerox Corporation statt und bezog sich auf die Herstellkosten von Kopiermaschinen. Auslöser für die Entwicklung der als "competitive benchmarking" bezeichneten Methode war die Entdeckung, dass die Verkaufspreise japanischer Wettbewerber unterhalb der Herstellkosten vergleichbarer Xerox-Geräte lagen.⁴⁹ In den 80er Jahren hat das Benchmarking insbesondere in den Funktionsbereichen Logistik und Produktion eine weite Verbreitung gefunden⁵⁰, mittlerweile wird es jedoch zunehmend in Gebieten der Forschung und Entwicklung angewendet.⁵¹

Allgemeingültige Vorgehensweise

Unabhängig vom konkreten Benchmarking-Objekt lässt sich für das Benchmarking eine allgemeingültige Vorgehensweise beschreiben (vgl. Abbildung 15).⁵²

1. **Bestimmung der Referenzklasse:** Mit der Referenzklasse wird festgelegt, welche Objekt-Typen dem Benchmarking unterworfen werden sollen. Darunter können Produkte, Prozesse, Organisationen oder Strategien fallen.
2. **Auswahl der Referenzobjekte:** Aus der Referenzklasse werden diejenigen Objekte ausgewählt, die in das Benchmarking aufgenommen wer-

⁴⁷ Der Begriff Benchmark stammt aus dem Vermessungswesen und bezeichnet einen fixierten Referenzpunkt in einer Landschaft (vgl. Krystek, 2003, S. 969).

⁴⁸ Vgl. Camp, 1994; Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 20-28; Burger, 1999, S. 91-116.

⁴⁹ Vgl. Camp, 1994, S. 7-10.

⁵⁰ Vgl. Krystek, 2003, S. 975.

⁵¹ Vgl. Sabisch/Tintelnot, 1997.

⁵² Vgl. Camp, 1994; Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 20-28; Krystek, 2003 und Fromm, 1999. Die erörterte Vorgehensweise ist der bei Krystek vorgestellten Vorgehensweise am nächsten. Prinzipiell existieren jedoch keine wesentlichen Unterschiede in der aktuellen Literatur.

3 Stand der Erkenntnisse

den sollen. Dabei kann es sich um unternehmensinternes, konkurrenzbezogenes, branchenbezogenes oder um branchenübergreifendes (funktionsorientiertes) Benchmarking handeln. Der Umfang der Referenzobjekte hat Einfluss auf die Übertragbarkeit von Erkenntnissen, das identifizierbare Optimierungspotenzial und den Aufwand der Informationsbeschaffung.⁵³

Allgemeine Kriterien für die Auswahl der Referenzobjekte sind:

- a) Vergleichbarkeit (Ähnlichkeit der kausalen Zusammenhänge),
- b) Leistungsniveau (Anspruchsniveau für die Zielfestlegung und zu erwartendes Optimierungspotenzial) und
- c) Transparenz (Möglichkeit der Informationsbeschaffung).

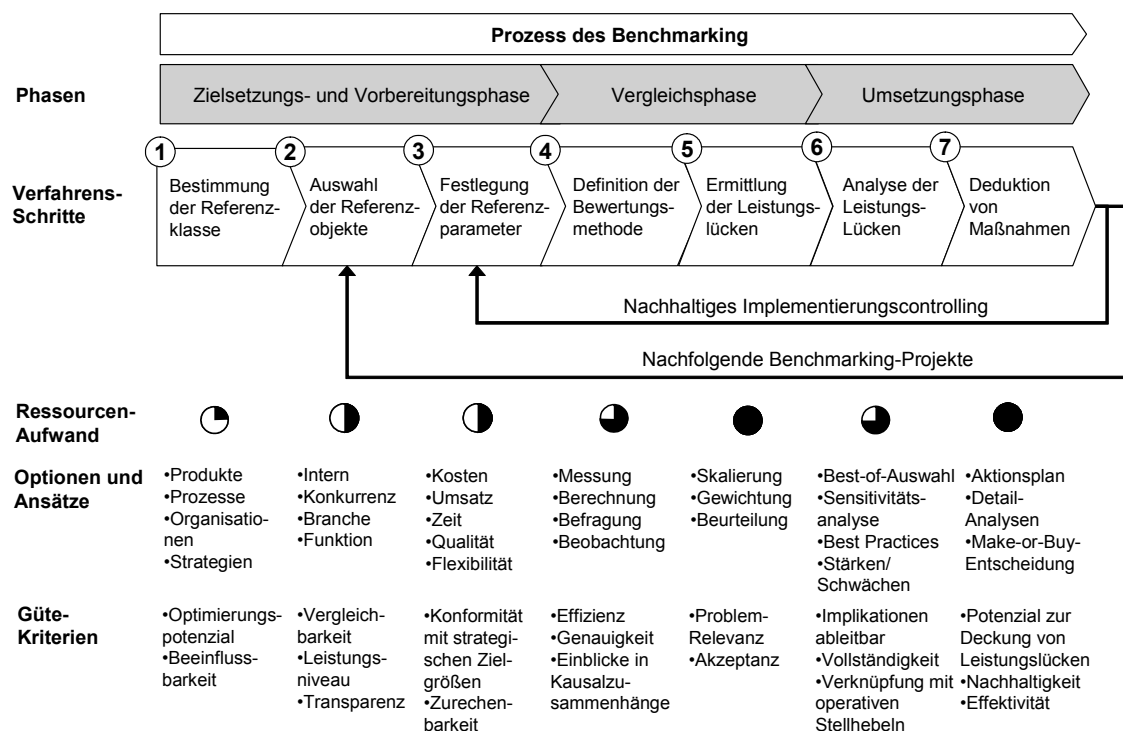


Abbildung 15: Allgemeines Vorgehen beim Benchmarking: Verfahrensschritte und mögliche Ansätze⁵⁴

3. **Festlegung der Referenzparameter:** Die Referenzparameter sind Kennzahlen oder qualitative Aussagen zum Leistungsniveau (Kosten, Zeit, Qualität, Erfolg) von Referenzobjekten. Beispiele für Referenzparameter sind Herstellkosten, Durchlaufzeit oder Kundenzufriedenheit. Die gewählten Referenzparameter sollten den folgenden Kriterien genügen:

- a) Konformität mit übergeordneten Unternehmenszielen,

⁵³ Mertens/Kohl, 2004, S. 88.

⁵⁴ Vorgehen angelehnt an: Krystek, 2003, S. 974 und Camp, 1994, S. 21.

b) Zurechenbarkeit im Rahmen der Referenzobjekte und damit die Umsetzbarkeit der Implikationen differierender Referenzparameter.

4. **Definition der Bewertungsmethode:** Abhängig von der Art der Referenzparameter ist eine Erhebungsmethode zu definieren, die eine sinnvolle Balance der beiden Anforderungen
 - a) Effizienz (hohe Geschwindigkeit und geringer Aufwand) und
 - b) Genauigkeit (geringe Messfehler) findet und Einblicke in Kausalzusammenhänge (nicht lediglich Korrelationen) bietet.
5. **Ermittlung der Leistungslücken:** Die Ermittlung der Leistungslücken stellt häufig Herausforderungen an die Informationsrecherche. Ein sorgfältiges und objektiv nachvollziehbares Vorgehen ist Voraussetzung für die Akzeptanz der Ergebnisse.
6. **Analyse der Leistungslücken:** Die Lücke kann anschließend mit Hilfe mehrerer Analysemethoden detailliert betrachtet werden (Ursachenanalysen, relative und absolute Vergleichsanalyse, Stärken/Schwächen-Analysen, Best-of-Best-Analyse, Sensitivitätsanalysen, etc.) und darauf aufbauend können Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden.
7. **Deduktion von Maßnahmen:** Die deduzierten Maßnahmen sollen mindestens die Leistungslücke zum besten Referenzobjekt schließen – darüber hinaus muß jedoch angestrebt werden, die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit durch langfristig überlegene Lösungen sicherzustellen.⁵⁵ Dabei ist zu bedenken, dass auch die Wettbewerber konstant an der Verbesserung ihres Leistungsniveaus arbeiten.

Im Unterschied zum "Reverse Engineering" besteht das Ziel des Benchmarkings nicht darin, Konkurrenzprodukte oder -prozesse zu imitieren, sondern anspruchsvolle Ziele zu setzen und diese, auch durch partielle Adaption und Modifikation überlegener Ideen ("Best Practices") aus anderen Unternehmen, zu erreichen (vgl. Abbildung 16). Die Wirkung des Benchmarkings geht im Idealfall über eine einmalige Steigerung des Leistungsniveaus hinaus. Die Transparenz über die leistungsbestimmenden Mechanismen, sowie über die Fortschritte bei Wettbewerbern sollten auch langfristig bei den Mitarbeitern die nötige Motivation und das notwendige Wissen erzeugen, um konstant die Steigerungsrate der Leistung über dem Wettbewerbsdurchschnitt zu halten.

⁵⁵ Vgl. Krystek, 2003, S. 974.

3 Stand der Erkenntnisse

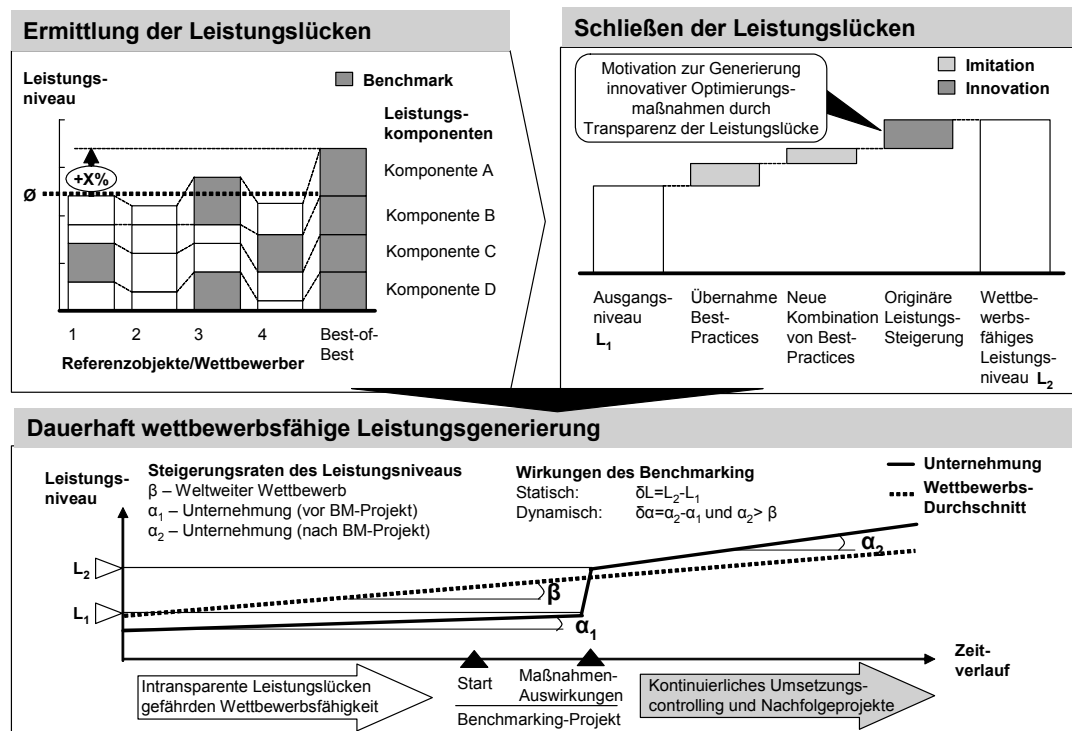


Abbildung 16: Beitrag des Benchmarkings zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit: Identifikation und Schließung von Leistungslücken⁵⁶

Die verschiedenen Formen des Benchmarkings weisen spezifische Charakteristika auf (vgl. Tabelle 3). Grundsätzlich steigen sowohl Aufwand, als auch Nutzen bei Erweiterung des Kreises der teilnehmenden Unternehmen an.

Benchmarking-Formen		Unternehmensintern	Konkurrenz-bezogen	Branchen-bezogen	Branchen-übergreifend
Charakteristika					
Aufwand	Beschaffung von Informationen	☐	●	◐	◐
	Herstellung der Vergleichbarkeit	☐	☐	◐	●
Nutzen	Quantifizierung von Leistungslücken	☐	●	◐	◐
	Deduktion innovativer Maßnahmen	☐	◐	◐	●

Tabelle 3: Formen des Benchmarking: Aufwand und Nutzen⁵⁷

Eine Besonderheit stellen hierbei branchenübergreifende Benchmark-Projekte dar: Sie stellen zwar auf der einen Seite besonders hohe Anforderungen an die Herstellung der Vergleichbarkeit der Leistungsniveaus und erschweren damit auch die Quantifizierung von Leistungslücken. Andererseits versprechen sie mit der höchst-

⁵⁶ Vgl. zu den Grundaussagen des Schaubilds: Krystek, 2003 und Camp, 1994, S. 31 ff.

⁵⁷ Eigene Darstellung, vgl. auch Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 25.

ten Wahrscheinlichkeit die Entdeckung von für die eigene Branche innovativen und somit für den Aufbau von Erfolgspotenzialen gegenüber dem eigenen Wettbewerb entscheidenden Maßnahmen.

3.2 Bewertungsansätze für Produktentstehungsprozesse

Ausgehend von den Anforderungen an Prozesse innerhalb der verteilten Produktentwicklung im Werkzeugmaschinenbau und der Notwendigkeit eines Bewertungsmodells für ein Prozess-Benchmarking, ist ein Bewertungsansatz für Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau zu entwerfen. Dabei sind insbesondere Erfolgsfaktoren (synonym: Stellgrößen) und Erfolgsindikatoren (synonym: Erfolgskriterien, Ziele) herauszuarbeiten, zwischen denen im weiteren Verlauf der Arbeit kausale Zusammenhänge hergestellt werden können.

Zunächst werden exemplarisch verschiedene aus der einschlägigen Literatur bekannte Bewertungsansätze für Produktentstehungsprozesse diskutiert und im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im Rahmen der vorliegenden Arbeit beurteilt.⁵⁸

3.2.1 Prozessmodell nach Krause und Heimann

Zielsetzung

Krause und Heimann haben im Rahmen des Projekts "Rechnerunterstützte Methoden zur Beschreibung und Bewertung von Konstruktionsprozessen und –ergebnissen" ein Prozessmodell und eine Beschreibungssprache für Produktentwicklungsprozesse entwickelt. Ziel des Projektes war es, durch eine konsistente und vollständige Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses einen wohldefinierten Ansatz für Optimierungen zu bilden.⁵⁹

Beschreibung

Die Elemente der Beschreibungssprache setzen sich aus einem "Repository" von gespeicherten, standardisierten Symbolen zusammen. Diese Symbole definieren die Eingangsgrößen in das Modell (Aktivitäten, Ressourcen, Organisation und Randbedingungen), die Abläufe im Modell (Prozessgenerierung, Prozesssimulation und Prozessoptimierung) und das Konfigurationssystem (Kommunikation, IT-Infrastruktur und CAD-/Anwendungsumgebung). Die Verknüpfungen und Informationsflüsse zwischen den Systemelementen sind schematisch vorgegeben (siehe Abbildung 17). Die Prozessmodellierung wurde in einem Programm umgesetzt und ermöglicht, die konkrete Ausgestaltung der Verknüp-

⁵⁸ Vgl. zu einer umfangreichen Recherche von mehr als 40 allgemeinen und F&E-bezogenen Bewertungs- und Benchmarking-Methoden: Schröder, 2003, S. 40-67.

⁵⁹ Vgl. Krause/Heimann, 2000.

3 Stand der Erkenntnisse

fungen für ein bestimmtes Projekt vorzugeben (z.B. die Zuordnung von Teilaufgaben zu bestimmten Mitarbeitern).⁶⁰

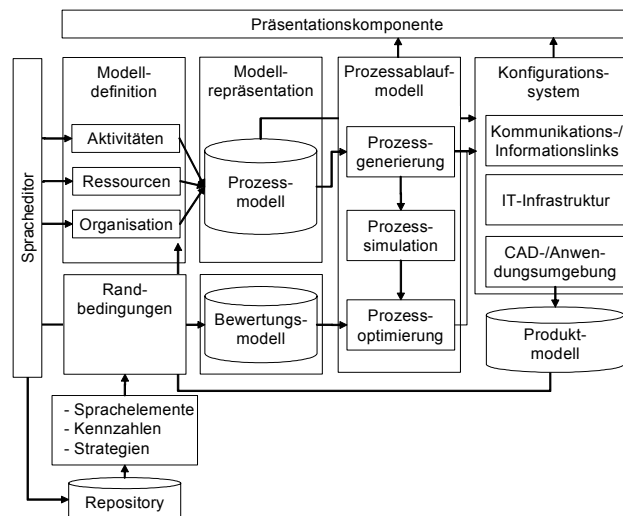


Abbildung 17: Systemkonzept für Produktentwicklungsprozesse nach Krause/Heimann⁶¹

Die Komponenten des Prozessmodells (Aktivitäten, Ressourcen und Organisation) sind in weitere Modelle untergliedert. Die Aktivitäten setzen sich zusammen aus den Aufgaben (Tätigkeiten und zu erzielende Ergebnisse), den Informationsflüssen (erzeugte Daten und Informationen), der Kommunikation (Kommunikationsabläufe und -partner), den Zeiten (zeitlicher Ablauf der Tätigkeiten) und den Methoden (Verfahren wie bspw. QFD und FMEA). Die Ressourcen bestehen aus Werkzeugen (unterstützende Soft- und Hardware), Mitarbeitern (Anzahl und Qualifikationsprofile), Kosten (fixe und variable Kostensätze) sowie Wissen bzw. Information (Verweise auf interne und externe Quellen). Die Organisation beschreiben Krause/Heimann als die Kombination aus Aufbauorganisation (statische organisatorische Infrastruktur) und Ablauforganisation (dynamische organisatorische Abläufe) sowie den Entscheidungen (Befugnisse zur Freigabe von Prozessstati).⁶²

Das Modell ermöglicht durch seine Anpassungsfähigkeit und Ausdrucksfähigkeit, unterschiedliche Sichten auf den Entwicklungsprozess konsistent und vollständig abzubilden.

⁶⁰ Vgl. Krause/Heimann, 2000.

⁶¹ Krause/Heimann, 2000, S. 306.

⁶² Vgl. Krause/Heimann, 2000.

Bewertung und Einordnung

Positiv hervorzuheben sind am Modell von Krause/Heimann folgende Eigenschaften:

- universelle Anwendbarkeit und Adaptierbarkeit in Bezug auf Produkte und Prozesse,
- konsequente systemtheoretische Ableitung mit dem Aufzeigen von Subsystemen, Systemgrenzen und Interaktionen zwischen Subsystemen,
- Trennung zwischen statischen und dynamischen Einflussgrößen auf den Prozess und die
- Integration der "Konfigurationssysteme" Kommunikation, IT-Infrastruktur und CAD-/Anwendungsumgebung als konkrete Ansatzpunkte zur Optimierung.

Allerdings zeichnet sich das Modell von Krause/Heimann auch durch einige Eigenschaften aus, die die Verwendbarkeit für die Zwecke im Rahmen dieser Arbeit einschränken:

- Das Modell enthält keine Beschreibung von Erfolgsindikatoren und
- die Voraussetzungen verteilter Produktentwicklung werden (zumindest auf den höheren, sichtbaren Modellebenen) nicht explizit berücksichtigt.

3.2.2 Innovationsprozess nach Werner

Zielsetzung

Werner leitet ein Prozessmodell der Produktentwicklung in einem weiteren Sinne ab, um die Leistung von Forschung und Entwicklung zu beschreiben. Das Modell dient dabei der Definition des Begriffs Innovationsleistung. Werner greift auf ein früheres Modell von Brown/Svenson⁶³ zurück und erweitert dieses.⁶⁴

Beschreibung

Werner stellt ein stark abstrahierendes Modell des Innovationsprozesses vor, das den F&E-Prozess als Teil des Innovationsprozesses selbst in Form einer "Black Box" darstellt (Abbildung 18). Als Eingangsgrößen nennt er Kapitalressourcen, Personal, Know-How und Management-Leistung. Er führt als Zwischenergebnis des Innovationsprozesses, als "Teil-Output", die neuentwickelten Produkte und Verfahren ein. Als Ausgangsgröße betrachtet er die neuen bzw. verbesserten Produkte am Markt, die betriebswirtschaftlichen Erfolge neuer Produkte (Umsätze, Gewinne) und neue bzw. verbesserte Verfahren. Die optimale Innovationsleistung definiert er nun als die Erzielung maximaler Output-Kombinationen bei gleichzei-

⁶³ Vgl. Brown/Svenson, 1988, S. 12.

⁶⁴ Vgl. Werner, 2002, S. 36 f.

3 Stand der Erkenntnisse

tig minimalen Input-Kombinationen.⁶⁵ Werner bezeichnet nicht die Prozesse im Unternehmen, die vom Teil-Output zum Output führen – diese werden ebenfalls als Black Box gekennzeichnet.⁶⁶

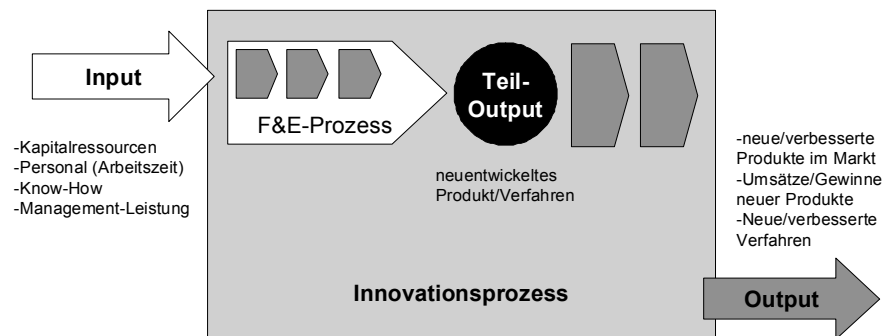


Abbildung 18: Innovationsprozess nach Werner⁶⁷

Bewertung und Einordnung

Die Leistungen des Modells von Werner in Bezug auf die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit sind:

- Werner weist Prozesseingangs- und Ausgangsgrößen klar aus und gibt einige instruktive Beispiele und
- das Modell macht deutlich, dass der F&E-Prozess innerhalb des gesamten Innovationsprozesses nur ein Teil-Ergebnis erbringt.

Für die Verwendung im Rahmen dieser Arbeit hat das Modell folgende Defizite:

- Es werden keinerlei konkrete Ansatzpunkte zur Optimierung der Innovations- bzw. F&E-Leistung aufgezeigt,
- das Modell zeigt nicht auf, durch welche Prozesse das Endergebnis des Innovationsprozesses zusätzlich determiniert wird und
- das Paradigma der verteilten Produktentwicklung ist nicht in das Modell eingeflossen.

3.2.3 Prozessmodell nach Wildemann

Zielsetzung

Das Prozessmodell von Wildemann hat zum Ziel, im Rahmen eines F&E-Controlling die Einflussgrößen auf den Erfolg von Entwicklungsprojekten, sowie

⁶⁵ Anmerkung: Die Optimierung eines Systems kann lediglich in Bezug auf eine einzige Zielgröße erfolgen – also wäre die optimale Innovationsleistung entweder durch minimale Inputs bei festgelegten Outputs oder durch maximale Outputs bei vorgegebenen Inputs gekennzeichnet. Zudem ist eine (quantitative oder qualitative) Bewertung der Input- bzw. Outputkombinationen notwendig.

⁶⁶ Vgl. Werner, 2002, S. 36 f.

⁶⁷ Werner, 2002, S. 37.

3 Stand der Erkenntnisse

die Indikatoren für den Erfolg von Entwicklungsprojekten zu beschreiben. Das Modell soll dazu beitragen, zukünftige, laufende und vergangene Projekte hinsichtlich der Erfolgsfaktoren zu bewerten.⁶⁸

Beschreibung

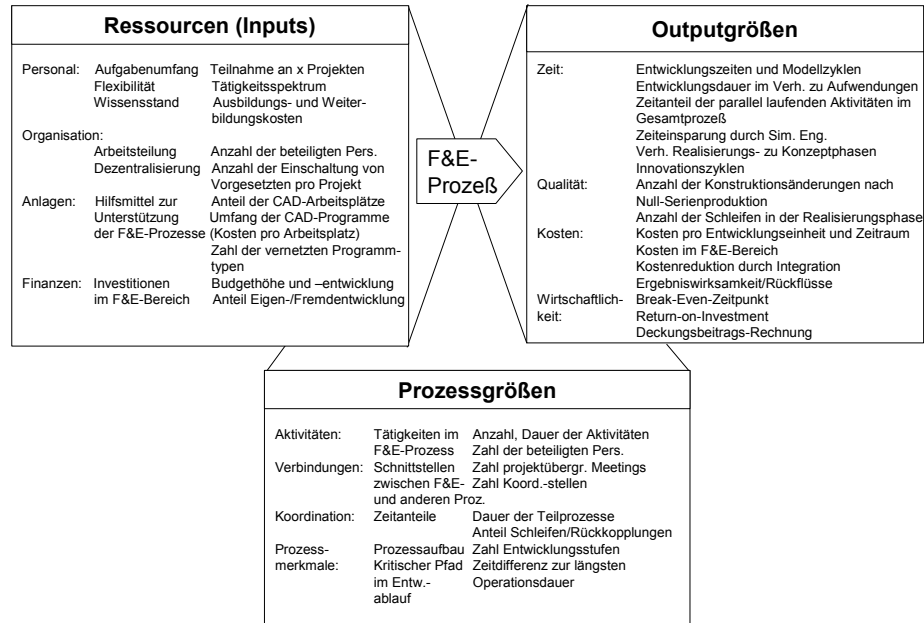


Abbildung 19: Prozessmodell zum F&E-Controlling nach Wildemann⁶⁹

Das Prozessmodell von Wildemann unterscheidet drei Kategorien von Größen (vgl. Abbildung 19): Eingangsgrößen (Ressourcen), Prozessgrößen und Ausgangsgrößen (Outputs). Die Eingangsgrößen gliedern sich in Personal (Aufgabenumfang, Flexibilität, Wissensstand), Organisation (Arbeitsteilung, Dezentralisierung), Anlagen (z.B. CAD-Arbeitsplätze) und Finanzen (Budget, Anteil der Fremdentwicklungen). Bei den Prozessgrößen gibt es Aktivitäten, Verbindungen (Schnittstellen zwischen F&E- und anderen Prozessen), Koordination (Dauer von Teilprozessen, Anteil Schleifen) und Prozessmerkmale (Prozessaufbau, kritischer Pfad). Schließlich unterscheidet das Modell als Ausgangsgrößen Zeit (Gesamtdauer, Dauer der Phasen), Qualität (Anzahl Änderungen nach Null-Serienproduktion, Anzahl Schleifen in Realisierungsphase), Kosten (Gesamtkosten, Kosten pro Entwicklungsbereich) und Wirtschaftlichkeit (Break-Even-Zeitpunkt, Return-on-Investment, Deckungsbeitrags-Rechnung).⁷⁰

Das Prozessmodell von Wildemann zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass es eine Differenzierung in Eingangs- und Prozessgrößen vornimmt.

⁶⁸ Vgl. Wildemann, 2004, S. 58.

⁶⁹ Wildemann, 2004, S. 58.

⁷⁰ Vgl. Wildemann, 2004, S. 58.

Bewertung und Einordnung

Einige Eigenschaften des Wildemann-Modells machen es besonders attraktiv im Sinne der Zielrichtung dieser Arbeit:

- Die getrennte Darstellung von Eingangsgrößen (statisch) und Prozessgrößen (dynamisch) erleichtert die Identifikation von Erfolgsfaktoren,
- die Beispiele für konkrete Kennzahlen (z.B. Mitarbeiterteilnahme an X Projekten, Anteil CAD-Arbeitsplätze, Anzahl Konstruktionsänderungen) machen das Modell operativ verwendungsfähig und
- die vier verschiedenen Erfolgsdimensionen (Zeit, Qualität, Kosten, Wirtschaftlichkeit) sind ausreichend breit aufgefächert, um alle relevanten Aspekte abzudecken.

Allerdings gibt es einige Argumente, die die Verwendbarkeit im Rahmen dieser Arbeit einschränken:

- Das Prozessmodell zeigt den Beitrag anderer Unternehmensfunktionen zur Erreichung der Ausgangsgrößen nicht auf (z.B. hängt der Break-Even-Zeitpunkt für ein Produkt u.a. auch von der Marketing-Strategie, den Materialkosten und den Fertigungskosten ab),
- die Besonderheiten bei verteilten Produktentwicklungen werden nicht angesprochen und
- die Produktkosten werden als Ausgangsgröße in der Kategorie Kosten nicht aufgeführt – dabei übertreffen die Produktkosten die Entwicklungskosten in der Regel um ein Vielfaches.⁷¹

3.2.4 Benchmarking-Methodik RACE II

Zielsetzung

Die Methodik RACE (**R**eadiness **A**ssessment for **C**oncurrent **E**ngineering) wurde 1993 an der West Virginia University entwickelt und 1996 von de Graaf zu RACE II weiterentwickelt. Ziel des Modells ist eine umfassende Bewertung und Schwachstellenanalyse des Produktenstehungsprozesses.

Beschreibung

Über Interviews, Workshops und die Analyse von Unterlagen werden Antworten zu einem detaillierten Fragebogen als Eingangsdaten für eine Bewertungssystematik generiert. Diese Systematik führt zu einer differenzierten Bewertung des Produktenstehungsprozesses (vgl. Abbildung 20). Innerhalb der beiden Hori-

⁷¹ Im deutschen Maschinenbau machten die F&E-Kosten im Jahr 2003 im Mittel einen Anteil von 2,8% aus (vgl. VDMA, 2005, S. 26). Im Werkzeugmaschinenbau liegen sie im Durchschnitt wesentlich höher, ca. 6% (vgl. VDI Nachrichten, 2005). Vgl. dazu auch Wildemann, 2003, S. 134.

3 Stand der Erkenntnisse

zonte "Prozess" und "Technologie" werden insgesamt 16 Dimensionen unterschieden, deren Reifegrade jeweils auf einer Skala gemessen werden. Im Ergebnis erhalten die bewerteten Unternehmen somit einen Überblick über Stärken und Schwächen ihres Entwicklungsprozesses. Für die quantitative Auswertung ausschlaggebend ist ein Fragebogen mit 71 Fragen zum "Prozess" und 60 Fragen zur "Technologie". Ein Auswerteschlüssel überführt die ausgefüllten Fragebögen in eine Bewertungsmatrix. In der graphischen Darstellung der Bewertungshorizonte können anschließend Soll-Werte für die einzelnen Dimensionen eigenständig definiert und daraus Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Als Idealzustand wird eine maximale Bewertung über alle Dimensionen hinweg postuliert.⁷²



Abbildung 20: Bewertungshorizonte für Produktentstehungsprozesse im RACE II - Modell⁷³

Bewertung und Einordnung

Vorzüge des RACE II – Modells sind:

- Der Bewertungsansatz umfasst eine Reihe von Dimensionen und adressiert die Besonderheiten von durch Informationstechnologie unterstützten und räumlich verteilten Produktentstehungsprozessen. Das Modell spricht sowohl die Zusammenarbeit im Entwicklungsteam, verwendete Entwicklungsinstrumente, als auch die Kundennähe im Entwicklungsprozess an,
- die Autoren stellen eine Systematik zur Erhebung und Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Entwicklungsprozesses zur Verfügung und
- das Modell enthält Aussagen zu den Eigenschaften eines postulierten idealen Entwicklungsprozesses.

Andererseits hat RACE II einige Nachteile:

⁷² Vgl. Graaf, 1996.

⁷³ Graaf, 1996, S. 106.

3 Stand der Erkenntnisse

- Die Bewertungslogik wird als allgemeingültig unterstellt. Tatsächlich ist es unwahrscheinlich, dass die gesamte Bandbreite der in der Praxis vorkommenden Produktentstehungsprozesse den gleichen Richtlinien folgen sollte und
- die Begutachtung der Ergebnisse von Entwicklungsprozessen findet nicht statt. Somit wird eine Verknüpfung von Stellgrößen und Erfolgsindikatoren nicht hergestellt.

3.2.5 Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau nach Schröder

Zielsetzung

Schröder setzt sich zum Ziel, einen kennzahlenbasierten Ansatz zur Bewertung und Verbesserung von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau zu entwickeln. Wesentliche Anforderungen, die er an einen neuen Ansatz stellt, betreffen die praktische Anwendbarkeit und Praktikabilität, sowie eine Berücksichtigung der Spezifika des Maschinenbaus und eine ganzheitliche Sicht, die alle Anspruchsgruppen einbezieht.⁷⁴

Beschreibung

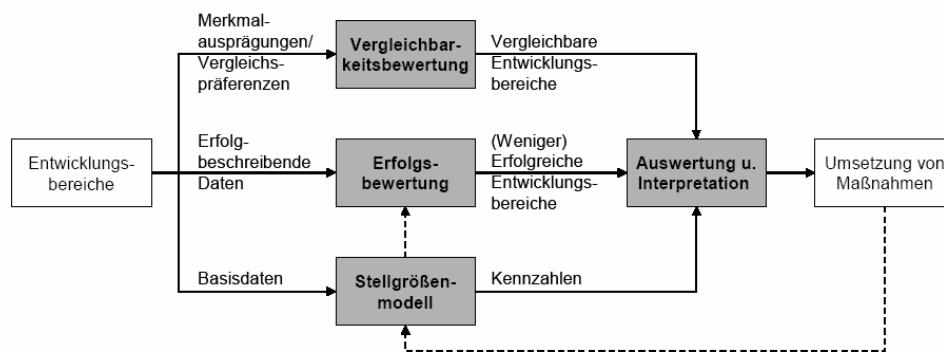


Abbildung 21: Grobkonzept der Benchmarking-Methodik für Entwicklungsbereiche im Maschinenbau nach Schröder⁷⁵

Das Konzept von Schröder differenziert sich in die Bausteine der Vergleichbarkeitsbewertung, der Erfolgsbewertung, des Stellgrößenmodells und der Auswertung und Interpretation (vgl. Abbildung 21). Innerhalb des Bausteins der Vergleichbarkeitsbewertung werden die Dimensionen Produkt (Größe, Häufigkeit, Individualität und Komplexität), Unternehmen (Umsatz), Kunden (Anzahl, Verteilung) und Wettbewerber (Anzahl, Verteilung, Marktanteile) betrachtet. Die Erfolgsbewertung stützt sich auf die Erfüllung der Anforderungen von Anspruchsgruppen. Dazu zählen der Einkauf, der Entwicklungsbereich selbst, die Gesell-

⁷⁴ Vgl. Schröder, 2003, S. 37-40.

⁷⁵ Schröder, 2003, S. 73.

3 Stand der Erkenntnisse

schaft, die Kunden, die Lieferanten, das Management, die Produktion, der Service, sowie Vertrieb und Marketing. Jeder Anspruchsgruppe sind bestimmte Anforderungen zugeordnet – die Erfolgsbewertung erfolgt nun durch Erfassung und Gewichtung der einzelnen Erfüllungsgrade.⁷⁶

Das Stellgrößenmodell setzt sich aus den sieben Stellgrößen Strategie, Projektmanagement, Prozesse, Organisation, Ausstattung, Informationsmanagement und Mitarbeiter zusammen, die jeweils durch einige Untergruppen mit je etwa drei bis fünf Kennzahlen detailliert werden. Die Auswertung der Kennzahlen aus den drei Bausteinen soll mit Hilfe von Korrelations-, Varianz-, Regressions- und Clusteranalysen sowie neuronalen Netzen erfolgen. Zusätzlich konzipiert Schröder ein IT-Tool, das die Eingabe, Auswertung und Ausgabe von Kennzahlen und Analyseergebnissen unterstützt und beschleunigt.⁷⁷

Bewertung und Einordnung

Die von Schröder vorgestellte Benchmarking-Methodik für Entwicklungsbereiche im Maschinenbau erscheint im Rahmen der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit geeignet aufgrund der folgenden Eigenschaften:

- Der kennzahlenbasierte Ansatz führt zu einem hohen Grad an Objektivität und Nachvollziehbarkeit von unternehmensbezogenen Auswertungen,
- die explizite Differenzierung in Erfolgskriterien und Erfolgsfaktoren ermöglicht grundsätzlich die Identifizierung von kritischen kausalen Zusammenhängen,
- die Fokussierung auf Entwicklungsbereiche im Maschinenbau ähnelt der Fokussierung der vorliegenden Arbeit.

Andererseits ist die Verwendbarkeit in der Praxis durch folgende Aspekte eingeschränkt:

- Die Vergleichbarkeits- und Erfolgsbewertung sollte nicht, wie hier vorgeschlagen, parallel, sondern sequenziell erfolgen, um den Bearbeitungsaufwand zu minimieren (frühzeitiger Ausschluss nicht vergleichbarer Entwicklungsbereiche) und
- die Ableitung des Erfolgsgrades von Entwicklungsbereichen aus der Befragung aller denkbaren "Anspruchsgruppen" geht an der tatsächlichen Zielsetzung von Entwicklungsbereichen in der Praxis vorbei. Entscheidend ist weniger die Beurteilung durch andere betriebliche Funktionen oder die Gesellschaft als Ganzes, sondern der Beitrag zur Entwicklung kommerziell erfolgreicher Produkte.

⁷⁶ Vgl. Schröder, 2003.

⁷⁷ Vgl. Schröder, 2003.

3.3 Bewertungsansätze für technische Produkte

Die gängigen und in der Praxis weit verbreiteten Bewertungsansätze für technische Produkte werden im Folgenden vor dem Hintergrund der Nutzbarkeit für die Bewertung von Werkzeugmaschinen kurz erörtert und beurteilt.

Maßgebliche Beurteilungskriterien sind die Beiträge zur Aufdeckung und Schließung von Leistungslücken, die Nachvollziehbarkeit und Objektivität, sowie der Bezug auf Kunden (Sicht des Maschinenanwenders) und der Bezug auf Wettbewerber (Sicherung der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit).

3.3.1 Wertanalyse

Zielsetzung

Die von L.D. Miles nach Ende des Zweiten Weltkrieges eingeführte Wertanalyse (Value Analysis) ist ein Instrument zur kostenoptimalen Gestaltung bestehender oder neuer technischer Systeme.⁷⁸ Grundprinzipien sind der Vergleich der von den Kunden empfundenen Wertigkeit technischer Funktionen mit den durch die Funktionen verursachten Herstellkosten sowie die Wertsteigerung durch Modifikation von Systemkomponenten und den Entfall von Funktionen.

Vorgehensweise⁷⁹

Die Wertanalyse geht üblicherweise in den folgenden Schritten vor:

1. **Identifikation und Priorisierung der Funktionen:** Ausgehend von Marktanalysen und dem ggf. bereits bestehenden Produkt werden die Funktionen des technischen Systems gesammelt und priorisiert, d.h. gewichtet. Dabei ist entscheidend, sich von Vorgänger- und Wettbewerber-Produkten gedanklich zu lösen, um neue Lösungswege identifizieren zu können. Die Funktionen werden in Haupt- und Nebenfunktionen eingeteilt. Während die Hauptfunktionen einen unmittelbaren Wert haben, stellen die Nebenfunktionen nur notwendige Unterstützungen für die Hauptfunktionen dar (z.B. Abdecken, Fixieren).
2. **Beiträge der Systemkomponenten zur Funktionserfüllung:** In interdisziplinärer Zusammenarbeit mit Vertretern der Entwicklung, des Vertriebs, des Einkaufs und der Produktion werden die Beiträge der Komponenten des Systems zu den einzelnen Funktionen näherungsweise prozentual aufgesplittet (Funktionenkostenmatrix). Die Segregation des Systems

⁷⁸ Vgl. Miles, 1961 und Felmy, 2004.

⁷⁹ Vgl. VDI, 1994; Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 171 f.; Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 19-21; Burger, 1999, S. 157-201; Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 118-120; Götze/Fischer, 2005, S. 219-224.

sollte etwa fünf bis 20 Komponenten ergeben. Eine geringere Anzahl würde für die nachfolgende Analyse zu grobe Schlussfolgerungen liefern, eine wesentlich höhere Anzahl würde die Analyse unübersichtlich machen. Der Fokus der Analyse sollte auf den wenigen kostenintensiven A-Bauteilen liegen, die etwa 80% der Gesamtkosten verursachen.

3. **Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten der Systemkomponenten:** Aus der Multiplikation der Beiträge der Systemkomponenten zu Funktionen mit der Wertigkeit der Funktionen erhält man Anhaltspunkte zu den Gesamtbeiträgen der Komponenten zum Kundennutzen. Diese Nutzen-Anteilswerte können mit den Kostenanteilen aus vorläufigen Berechnungen oder anhaltsweise Vorgänger-Produkten verglichen werden.
4. **Gezielte Kostenoptimierung:** Das Hauptaugenmerk bei der Erarbeitung von Kostenoptimierungsmaßnahmen ist nun auf die Systemkomponenten zu legen, deren Nutzen-Anteilswerte deutlich unter ihren Kosten-Anteilswerten liegen. Bei diesen Komponenten ist ein "Over-Engineering" zu vermuten, das durch entsprechende Vereinfachungen und Entfeinerungen der Konstruktion reduziert werden kann. Der zweite Ansatzpunkt für Kostenoptimierungen ist die Modifikation oder der Entfall von gering gewichteten Produktfunktionen, insbesondere von Nebenfunktionen.

Bewertung und Einordnung

Vorzüge der Wertanalyse, die auch für Werkzeugmaschinen nutzbar sind, bestehen in der Orientierung an den Bedürfnissen des Kunden (Maschinenanwenders) und in der Konzentration auf einen der wichtigsten Kostentreiber in der Fertigung – den Maschinen-Investitionsbetrag.

Grenzen der Wertanalyse bestehen jedoch darin, dass nur der Investitionsbetrag betrachtet wird, während die kundenrelevanten Anforderungen darüber hinaus weitere Kostenarten (Instandhaltung, Betrieb, etc.), die Mengenleistung, die Arbeitsgenauigkeit und die Flexibilität betreffen (vgl. Unterkapitel 2.2). Zudem fehlt der Bezug auf den Wettbewerb und damit ein kritisches Element zur Sicherung der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit.

3.3.2 Quality Function Deployment

Zielsetzung

Das Quality Function Deployment (QFD) zielt darauf ab, die Erwartungen der Kunden in der Produktentwicklung gesamthaft zu berücksichtigen. Zudem soll QFD die Kommunikation zwischen Vertrieb/Marketing und den technischen Funktionsbereichen Entwicklung und Produktion verbessern.

Vorgehensweise⁸⁰

Von zentraler Bedeutung für das QFD ist das sogenannte "House of Quality". Damit wird die Matrix bezeichnet, die die Verknüpfung von Kundenanforderungen ("was will der Kunde mit dem Produkt erreichen?") und Qualitätsmerkmalen des Produktes ("durch welche technischen Merkmale unterstützt ihn das Produkt dabei?") aufzeigt.⁸¹ Der Aufbau des House of Quality erfordert im Einzelnen:

1. die Eruierung und Gewichtung der Kundenanforderungen,
2. den Vergleich von eigenen und Wettbewerberprodukten hinsichtlich der Erfüllung von Kundenanforderungen und der Ausprägung von Qualitätsmerkmalen und
3. die Feststellung der Verknüpfungen zwischen Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmalen.

Wenn es gelungen ist, in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein plausibles House of Quality zu erstellen, können daraus eine Reihe nützlicher Analysen abgeleitet werden. Zu diesen Analysen gehört die Untersuchung auf mögliche Inkonsistenzen und Zielkonflikte (z.B. kann ein Qualitätsmerkmal auf eine Kundenanforderung positiv, auf eine andere jedoch negativ wirken), die Priorisierung von erwünschten Qualitätsmerkmalen für die Weiter- oder Neuentwicklung des eigenen Produkts und Hinweise auf zukünftig relevante Entwicklungsschwerpunkte.

Bewertung und Einordnung

Wichtigster Vorteil des QFDs ist die bereichsübergreifende Kombination der Bedürfnisse der Maschinenanwender und der technischen Leistungsdaten der Maschinen – ein hoher Kundenbezug ist damit sichergestellt. Auch der Wettbewerbsbezug wird durch den integrierten Vergleich von Leistungsdaten hergestellt. QFD weist zudem den Weg zur Schließung von Leistungslücken und problematisiert mögliche Zielkonflikte bei der Modifikation von Produktmerkmalen (jedoch ohne diese zu lösen⁸²).

Nachteilig wirken sich beim QFD die nicht näher definierte und nahezu unbegrenzt ausweitbare Anzahl von Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmalen aus – dies kann zu Unübersichtlichkeit und Demotivation führen.⁸³ Zudem wird

⁸⁰ Vgl. VDI, 1994; Akao, 1992; King, 1994 und Reinhart/Lindemann/Heinzl, 1996, S. 53-63. Vgl. die empirische Untersuchung zu den Erfolgsfaktoren von QFD-Projekten: Herrmann/Huber, 2000.

⁸¹ In zwei darauf folgenden Phasen lassen sich zusätzlich eine Matrix zur Überführung von Funktionsmerkmalen in Merkmale von Baugruppen und Teilen und dann zur Überführung der Merkmale von Baugruppen und Teilen in Prozess-Merkmale anschließen. In der Praxis wird darauf jedoch aufgrund des hohen Aufwands meist verzichtet (vgl. Boutellier, 1999, S. 274-277).

⁸² Vgl. Schmidt/Steffenhagen, 2002, S. 693.

⁸³ Vgl. Schmidt/Steffenhagen, 2002, S. 692 und S. 696, sowie Saatweber, 2005, S. 377 f.

3 Stand der Erkenntnisse

das Team mit der Ableitung der Verknüpfungsmatrix "allein gelassen" – die Gefahr einer Quasi-Objektivität, die aus der Überlagerung subjektiver und nicht näher geprüfter Urteile besteht, ist groß. Die bereichsübergreifenden Diskussionen, die durch QFD ausgelöst werden, sind zwar wertvoll – QFD kann diesen Diskussionen jedoch nur einen Rahmen geben, aber nicht eine auch lange nach Abschluss des QFD-Projekts noch objektiv nachvollziehbare, akzeptierte und alle relevanten Aspekte integrierende Lösung sicherstellen.

3.3.3 Life-Cycle-Costing

Zielsetzung

Ziel des Life-Cycle-Costing (LCC, synonym: Total Cost of Ownership)⁸⁴ ist es, im Hinblick auf Beschaffungsentscheidungen von Investitionsgütern eine Bewertung aller über den Lebenszyklus entstehenden Kosten zu erreichen. Zusätzlich zur Investitionssumme sind dabei insbesondere die Kosten der Instandhaltung, die Betriebskosten und die Entsorgungskosten zu beachten.

Vorgehensweise⁸⁵

Das Vorgehen gliedert sich in die folgenden acht Schritte:

1. **Entscheidung für die Anwendung von Life-Cycle-Costing:** Für den Einsatz von Life-Cycle-Costing sprechen erfahrungsgemäß hohe betriebsmittelbedingte Kosten, die erst nach der Investition anfallen, hohe Nutzungsdauern und die Erwartung eines hohen Kosteneinsparpotenzials.
2. **Ermittlung alternativer Produktionsmittel:** Ausgehend von den Pflichtenheft-Anforderungen sind die am Markt verfügbaren Produktionsmittel zu selektieren.
3. **Festlegung der Instandhaltungsstrategie:** Die angestrebte Zusammensetzung von korrektiven (Störungsbeseitigung bei Ausfall, redundante Systeme) und präventiven (geplanten, voraussagenden oder am Zustand orientierten) Instandhaltungsmaßnahmen ist festzulegen.
4. **Einsatzbedingungen und Nutzungsdauer:** Diese beiden Faktoren haben einen erheblichen Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Deswegen sollten sie bereits zu Beginn abgeschätzt und als Kalkulationsprämissen berücksichtigt werden.
5. **Ermittlung relevanter LCC-Faktoren:** Aus allen Kostenarten, die über den Lebenszyklus anfallen, müssen diejenigen ausgewählt werden, deren

⁸⁴ Vgl. Grob/Lahme, 2004.

⁸⁵ Vgl. VDI, 2003; Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 121-138; Niemann, 2005, S. 38 f.

3 Stand der Erkenntnisse

Umfang und Beeinflussbarkeit über die Wahl der Betriebsmittel ausreichend hoch sind, um den Aufwand des Life-Cycle-Costings zu rechtfertigen.

6. **Ermittlung der Kosten und Erlöse:** Anschließend sind in Zusammenarbeit mit den Betriebsmittel-Herstellern die unterschiedlichen Kosten und Erlöse, so weit wie im vorhergehenden Schritt als relevant erachtet, zu erheben.
7. **Bewertung:** In der quantitativen Bewertung werden die erhobenen Lebenszykluskosten unter der Anwendung einschlägiger Investitionsrechenverfahren (insbesondere Kapitalwertrechnung) vergleichend bewertet.
8. **Entscheidung und Umsetzung:** Abschließend erfolgt die Entscheidung für eines der in Frage kommenden Betriebsmittel.

Bewertung und Einordnung

Das Interesse vieler Maschinenanwender an Life-Cycle-Costing⁸⁶ allein macht es bereits auch für die Hersteller der Werkzeugmaschinen selbst interessant und relevant. Tatsächlich ist der Schritt von der Verkaufspreis-basierten Auftragsvergabe von Investitionsgütern zur LCC-basierten Vergabe ein beträchtlicher Schritt zur Erhöhung der Rationalität von Beschaffungsentscheidungen. Die in der Methodik integrierte, zwischen mehreren Betriebsmitteln vergleichende, Systematik stellt den Wettbewerbsbezug sicher. Die Identifikation von Leistungslücken lässt sich aus der LCC-Perspektive an bestimmten Kostenarten schnell festmachen.

Das Bewertungsinstrument weist jedoch noch gewisse Schwächen auf bei der Konfiguration alternativer Fertigungssysteme. So gibt es keine Hinweise darauf, wie die häufig sehr unterschiedlichen Werkzeugmaschinen verschiedener Hersteller zu direkt vergleichbaren Fertigungssystemen konfiguriert werden können. In der Regel geht es bei der Beschaffungsentscheidung nicht lediglich um eine Einzelmaschine, sondern um umfassendere, auf Fertigungsaufgaben bezogene Fertigungssysteme. Es spricht zudem nichts dagegen, jedem Fertigungssystem eine jeweils individuell optimale Instandhaltungsstrategie zuzuweisen, anstatt eine einzige Strategie durchgängig vorzugeben.

Aus der Sicht der Maschinenhersteller fehlt es darüber hinaus an der Berücksichtigung und Gewichtung der gesamten Bandbreite von bei Maschinenanwendern auftretenden Fertigungsbedingungen und zusätzlich an aufbauenden Analysen, die direkt Maßnahmen zur Schließung der Leistungslücken indizieren und in einer objektiv nachvollziehbaren Form priorisieren.

⁸⁶ Vgl. beispielsweise Perlewitz, 2000, S. 40-42 (LCC-Projekt in der Rohbau-Fertigung bei BMW) und Osten-Sacken, 1999.

3.3.4 Kano-Modell

Zielsetzung

Das Kano-Modell hat zum Ziel, die Auswirkung von Produktmerkmalen auf die Kundenzufriedenheit differenziert zu analysieren.

Vorgehensweise⁸⁷

In enger Kooperation zwischen Entwicklung, Marketing und Vertrieb werden die wichtigsten Produktmerkmale aus der Sicht des Kunden bewertet und in drei Kategorien eingeordnet:

1. **Grundmerkmale (unabdingbare Qualitätselemente):** Diese werden vom Kunden für selbstverständlich erachtet und sind Voraussetzung, um in seiner Kaufentscheidung überhaupt berücksichtigt zu werden.
2. **Leistungsmerkmale (eindimensionale Qualitätselemente):** Mit Hilfe der Leistungsmerkmale vergleicht der Kunde unterschiedliche Angebote, die bereits die Grundmerkmale erfüllen. Diese Merkmale liegen bei allen zu vergleichenden Produkten grundsätzlich vor, sind aber jeweils unterschiedlich stark ausgeprägt.
3. **Begeisterungsmerkmale (attraktive Qualitätselemente):** Die Begeisterungsmerkmale sind es, die ein bestimmtes Produkt aus der Sicht des Kunden von der Masse der Konkurrenzprodukte abheben. Falls diese vorliegen, lässt sich der Kunde möglicherweise besonders zeitnah zu einer Entscheidung bewegen. Bei Konsumgütern kann es dabei beispielsweise um Prestige-Merkmale gehen, bei Investitionsgütern sind es diejenigen Merkmale, die einen erhöhten Anwendernutzen durch geringere Kosten oder höhere Erlöse versprechen.

Die Einordnung der Produktmerkmale unterliegt selbstverständlich der Dynamik des Wettbewerbs und der Ansprüche der Kunden. So werden Begeisterungsmerkmale in der Regel im Zeitablauf zu Leistungsmerkmalen und diese wiederum zu Grundmerkmalen. Die Kenntnis über die Bewertung und Gewichtung der Produktmerkmale aus Kundensicht ist notwendig, um im Wettbewerb zu bestehen und neue Produktentwicklungen zielorientiert zu steuern.

Bewertung und Einordnung

Das Kano-Modell hat auch für Werkzeugmaschinen seine Berechtigung. So sind beispielsweise für Universaldrehmaschinen Werkzeugrevolver und eine CNC-Steuerung mittlerweile Grundmerkmale. Arbeitsraum-Abmessungen und Spindel-

⁸⁷ Vgl. Reinhart/Lindemann/Heinzl, 1996; King, 1994; Lindemann, 2005, S. 94 f. und O'Shea, 2002.

3 Stand der Erkenntnisse

Leistungen stellen Leistungsmerkmale dar und bestimmte neuartige Eigenschaften "Begeisterungs-" Merkmale (vgl. Abschnitt 2.3).

Darüber hinaus bietet das Kano-Modell jedoch für den Werkzeugmaschinen-Hersteller keine Hinweise für die Priorisierung seiner Entwicklungsanstrengungen. Für die Aufdeckung und Schließung von Leistungslücken will und kann das Kano-Modell keine durchgängige und ganzheitliche Vorgehensweise anbieten.

3.3.5 Konkurrenz-Benchmarking von Produkten

Zielsetzung

Das klassische Konkurrenz-Benchmarking von Produkten hat zum Ziel, die Merkmale eines unternehmenseigenen Produkts dem Vergleich mit Wettbewerberprodukten auszusetzen, um daraus Impulse für Verbesserungen zu gewinnen.

Vorgehensweise⁸⁸

Die Vorgehensweise entspricht grundsätzlich den im Unterkapitel 3.1 beschriebenen Schritten. Referenzklasse sind dabei Produkte, Referenzobjekte eigene und Wettbewerberprodukte. Als Referenzparameter werden die Produktmerkmale eingesetzt, die aus Kundensicht als entscheidend angesehen werden.

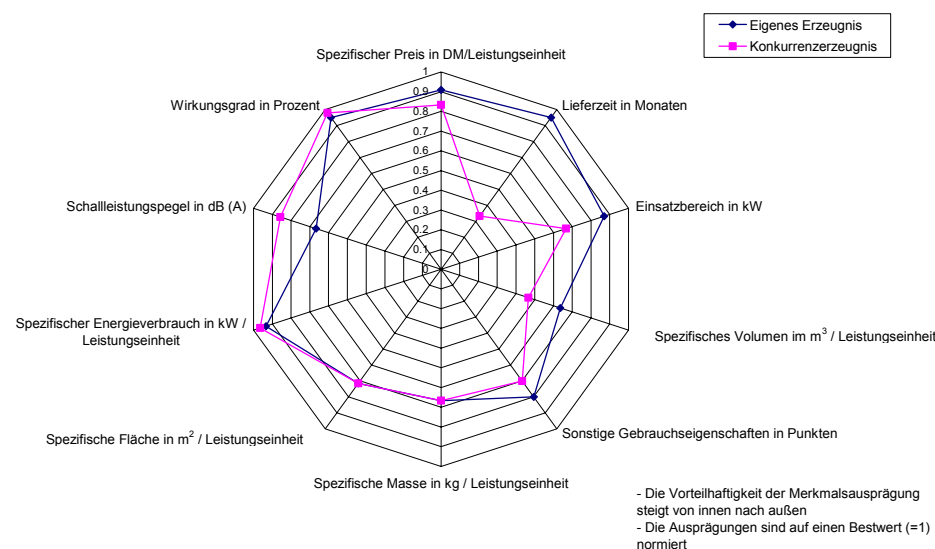


Abbildung 22: Klassisches Konkurrenz-Benchmarking von Produkten am Beispiel eines Erzeugnisses der Klimatechnik⁸⁹

Da technische Produkte, insbesondere Investitionsgüter, in aller Regel eine umfangreiche Anzahl von Merkmalen aufweisen, führt diese Vorgehensweise zu einem mehrdimensionalen Benchmarking (vgl. Abbildung 22). In der Gegenüber-

⁸⁸ Vgl. Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 11-44 und Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 365-397.

⁸⁹ Mit geringfügigen Änderungen übernommen aus: Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 38.

3 Stand der Erkenntnisse

stellung mit dem Wettbewerber-Erzeugnis werden Stärken und Schwächen des eigenen Produktes deutlich und es wird ein entsprechender Handlungsbedarf für die Produktentwicklung indiziert.

Bewertung und Einordnung

Das klassische Konkurrenz-Benchmarking von Produkten erfüllt die vorausgesetzten Kriterien in einem hohen Maß. So konzentrieren sich die Aktivitäten darauf, die wichtigen kundenrelevanten Merkmale zu identifizieren und in den Vergleich zum Wettbewerb zu stellen. Leistungslücken werden in einer objektiv nachvollziehbaren Weise aufgedeckt. Allerdings ist diese Form des Benchmarkings bereits innerhalb des Quality Function Deployments über die Erhebung der Produktmerkmale konkurrierender Produkte eingeschlossen.

Der gravierendste Nachteil ist die Multidimensionalität der Referenzparameter, die zu einer unbefriedigenden Vielfalt von Aussagen führt, die nicht zu Gesamtaussagen integriert werden. So gehört bei vielen Maschinenherstellern die Beobachtung des Marktes im Sinne einer Auswertung der Produktkataloge von Wettbewerbern zur Routine – der Aussagewert von Tabellen mit technischen Daten allein ist jedoch limitiert. Das klassische Konkurrenz-Benchmarking von Produkten bewertet nicht die Relevanz bestimmter Merkmale aus Sicht eines angestrebten Kundensegments. Es wird keine wirkliche Kundensicht eingenommen, da der Kunde die technischen und monetären Merkmale konkurrierender Werkzeugmaschinen immer in einer bestimmten Form gewichtet (z.B. über Life-Cycle-Costing).

3.4 Organisationsmethoden im Produktentstehungsprozess

Die beiden folgenden Unterkapitel reflektieren den Stand der Erkenntnisse in Bezug auf Organisationsmethoden und unterstützende Instrumente im Produktentstehungsprozess. Diese Reflektion dient der Vorbereitung eines zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau geeigneten Stellgrößenmodells.

Zu den wichtigsten Methoden im Management des Produktentstehungsprozesses zählen die Projektorganisation in ihren unterschiedlichen Ausprägungen, das Zielkostenmanagement (Target Costing), Quality Gates und das Concurrent oder Simultaneous Engineering.

3.4.1 Projektorganisation

Zielsetzung

Die Projektorganisation hat die Aufgabe, alle dem Entwicklungsprojekt zugeordneten Ressourcen so zu koordinieren, dass die Zielerreichung des Projekts sichergestellt wird. Hierbei steht die Projekthierarchie in einem Spannungsverhältnis

3 Stand der Erkenntnisse

nis zur Linienhierarchie – für die Auflösung dieses Spannungsverhältnisses existieren verschiedene Ansätze.

Formen der Projektorganisation⁹⁰

In der Projektorganisation gibt es vier idealtypische Varianten, die jeweils ein eigenes Profil in Bezug auf die Kompetenzen des Projektleiters, die Dauerhaftigkeit der Organisationsform, die Zuordnung der Projektmitarbeiter und die funktionale Ausrichtung haben. Es handelt sich um die Varianten der Stabs-Projektorganisation, der Matrix-Projektorganisation, der Projektorganisation in der Linie und der reinen Projektorganisation (vgl. Abbildung 23).

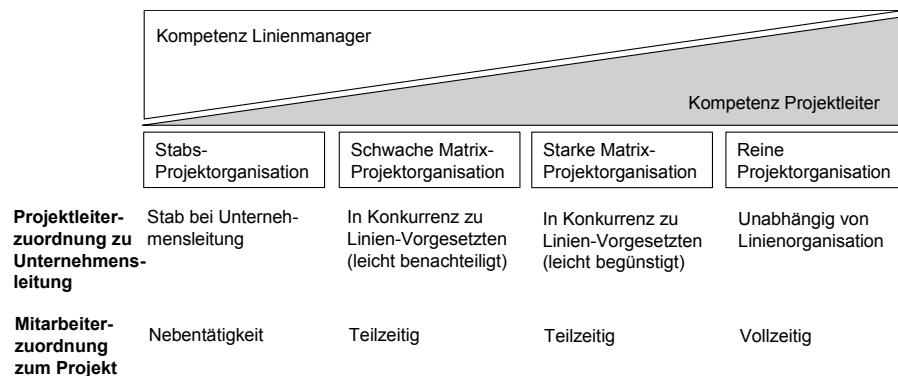


Abbildung 23: Idealformen der Projektorganisation im Spannungsfeld zwischen Linien- und Projekthierarchie⁹¹

In der Stabs-Projektorganisation hat der Projektleiter lediglich Informations- und Beratungskompetenzen. Er wird zeitlich befristet von seiner Linienposition freigestellt und berichtet an die Unternehmensleitung. Die Projektmitarbeiter gehen weiterhin ihren regulären Linienaufgaben nach und werden von ihren Linienvorgesetzten für einen Anteil ihrer Zeit für das Projekt freigestellt.

In der Matrix-Projektorganisation sind Projektleiter und Linien-Vorgesetzte in ihrer Weisungs- und Entscheidungsbefugnis gleichgestellt. Jeder Mitarbeiter hat somit zwei Vorgesetzte. Letztlich entscheiden die Machtverhältnisse und die aktuelle Priorisierung durch die Unternehmensleitung über die Aufteilung der Mitarbeiterzeit auf Linien- und Projektaufgaben. Deswegen wird gelegentlich in starke und schwache Matrix-Projektorganisation unterschieden. Die Projektorganisation in der Linie ist eine Sonderform, bei der alle im Projekt involvierten Mitarbeiter der gleichen funktionalen Linie im Unternehmen angehören. Hier übernimmt ein Manager aus der Linie gleichzeitig das Projektmanagement. Damit sind Konflikte um Mitarbeiter-, Sach- oder Finanzressourcen ausgeschlossen. Diese besonders

⁹⁰ Vgl. Keim/Littkemann, 2004, S. 85-95 und Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 361-373.

⁹¹ Eigene Darstellung, vgl. Keim/Littkemann, 2004, S. 86 und S. 93.

3 Stand der Erkenntnisse

einfache Form der Projektorganisation kommt grundsätzlich nur für begrenzte und mono-funktionale Projekte in Frage und wird aus diesem Grund im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Die beschriebenen Idealformen vernachlässigen zwei weitere Aspekte, die in der Praxis von Bedeutung sind:

1. Zusätzlich zu den Linien- und Projekthierarchien sind bei verteilten Projekten die Standort-Hierarchien zu berücksichtigen. Diese weitere Dimension steigert noch einmal die Komplexität und die potentiellen Reibungsverluste.
2. Bei Groß-Unternehmen berichten Projektleiter häufig nicht direkt an die Geschäftsleitung, sondern an Manager aus der 2. oder 3. Leitungsebene. Dabei kommt es oft zu einer Konstellation, in der ein Projektleiter durch seinen Vorgesetzten zwar einer Linienfunktion zugeordnet ist (z.B. Entwicklung), aber in seinem Projekt auch Mitarbeiter anderer Linienfunktionen koordiniert (z.B. Einkauf). Dies stellt eine ganz erhebliche Schwächung der Position des Projektleiters dar, da sein Durchgriff auf Mitarbeiter anderer Funktionen nur indirekt über die Vermittlung (eventuell mehrerer) "quer" liegender Hierarchieebenen erfolgt.

Da zwischen formalen Organigrammen und Stellenbeschreibungen und praktischer Realität oft beträchtliche Unterschiede bestehen, können die tatsächlichen Befugnisse nicht pauschal, sondern nur über detaillierte Befragung erkannt werden. Beispielsweise ist zu fragen nach dem Mitspracherecht des Projektleiters bei der Zieldefinition und den Randbedingungen des Projekts, den Entscheidungs- und Überwachungsbefugnissen, den Rechten bei der Auswahl von Projektmitarbeitern, dem Verfügungsrecht über das Projektbudget und dem Vertretungsrecht des Projekts nach außen.⁹²

Wie eine Vielzahl empirischer Befragungen ergab, beruht der Erfolg von Entwicklungsprojekten ganz wesentlich auf einem starken Projektleiter.⁹³ Dies dürfte bei verteilten Entwicklungsprojekten umso mehr der Fall sein. Eine extreme Ausprägung des starken Projektmanagers ist der in der japanischen Automobilindustrie verbreitete "Shusha"-Ansatz. Der Shusha trägt als Projektmanager die umfassende Verantwortung für eine gesamte Produktlinie, angefangen von der Produktplanung über den Entwicklungsprozess bis hin zur Übergabe an die Produktion. Im Rahmen dieser Verantwortung hat er die Kompetenz, einschneidend in die Produktdefinition (z.B. Varianten) und in die Marktbearbeitung (z.B. Einstellung einer Produktlinie) einzugreifen. Er hat die Befugnis, sich sein Projektteam selbständig zu-

⁹² Vgl. Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 357.

⁹³ Vgl. Farr/Fischer, 1992, S. 16.

3 Stand der Erkenntnisse

sammenzustellen, das ihm für die gesamte Dauer des Projekts disziplinarisch unterstellt ist.⁹⁴

3.4.2 Zielkostenmanagement

Zielsetzung

Das Zielkostenmanagement hat zum Zweck, marktgerechte Produktkosten sicherzustellen. Schon in einer frühen Phase der Entwicklung soll eine Ausrichtung der Produktkosten an dem am Markt erzielbaren Preis erfolgen.⁹⁵ Damit geht das Zielkostenmanagement in seinem Ansatz über die unternehmenseigenen Ressourcen und Technologien hinaus.⁹⁶ Entscheidungsleitend für die Gestaltung des Produkts sind nicht nur die technologischen Fähigkeiten des Unternehmens, sondern die am Markt zu erzielenden Gewinne.⁹⁷

Vorgehensweise

Das Vorgehen beim Zielkostenmanagement für Investitionsgüter lässt sich in sechs Schritten zusammenfassen:

1. Zunächst wird der potentielle Markt analysiert, um den **erzielbaren Preis** (Target Price) aus den Kundenwünschen und der Zahlungsbereitschaft der Kunden abzuleiten. Zusätzlich gehen aus der Marktforschung Informationen über die von den einzelnen Kundengruppen erwünschten Produktfunktionen in die Entwicklung ein.⁹⁸ In Sensitivitätsanalysen sollten Unsicherheiten über Marktentwicklungen diskutiert und diesen sollte durch Abschläge im Target Price Rechnung getragen werden (Risikoadjustierung).
2. Der **Zielgewinn** (Target Profit) ergibt sich aus den von der Unternehmensführung vorgegebenen langfristigen Renditezielen. Diese Renditeziele werden maßgeblich von den Vorstellungen der Eigenkapitalgeber beeinflusst.⁹⁹ Wenn das Unternehmen als Aktiengesellschaft an der Börse gehandelt wird, ist davon auszugehen, dass der Kapitalmarkt eine Ausrichtung an den Renditen der Wettbewerber am Weltmarkt erwartet.
3. Die Differenz aus Target Price und Target Profit ergibt die **zulässigen Kosten** (Allowable Costs). Diese zulässigen Kosten werden in manchen Fällen um einen Korrektursatz modifiziert, der sich an den vorhandenen Kosten-

⁹⁴ Vgl. Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 366 ff.

⁹⁵ Vgl. Horvath, 1998, S. 521. Vgl. zu den Möglichkeiten der Integration mit dem Quality Function Deployment: Brusch/Trilk/Dinse/Treppa, 2001.

⁹⁶ Vgl. Burger, 1999, S. 20.

⁹⁷ Vgl. einen neuen Ansatz zur Anwendung des Zielkostenmanagements in der internationalen Produktentwicklung und in Bezug auf modulare Produktarchitekturen: Ortelbach, 2005.

⁹⁸ Vgl. Seidenschwarz, 1991, S. 117 ff.

⁹⁹ Vgl. Burger, 1999, 43 ff. und Franz, 1993, S. 126.

strukturen im Unternehmen und sonstigen Zielvorstellungen der Unternehmensführung orientiert. Aus den korrigierten Allowable Costs ergeben sich die **Zielkosten** (Target Costs). In der einschlägigen Literatur wird der Korrektursatz als Aufschlag zu den Zielkosten eingeführt.¹⁰⁰ Es wird angenommen, dass die Unternehmensführung die Zielkosten durch den Korrektursatz "realistischer" und "erreichbarer" macht. Es ist jedoch nicht nachvollziehbar, weshalb die konsequent aus den Bedingungen am Absatz- und am Kapitalmarkt abgeleiteten zulässigen Kosten nach oben korrigiert werden müssen. In der Praxis findet man im Gegenteil eher negative Korrektursätze, also eine Verringerung der Target Costs im Vergleich zu den Allowable Costs ("Projektvorhalt"). Diese Korrektursätze sollen folgende Risiken auffangen:

- Verschlechterung der Bedingungen am Absatzmarkt (z.B. Einführung von günstigeren oder leistungsfähigeren Konkurrenzprodukten) oder
 - an den Beschaffungsmärkten (z.B. Erhöhung der Rohstoffpreise, Verstärkung der Marktmacht eines Lieferanten),
 - Erhöhung der Produktionskosten (z.B. durch Produktänderungen nach Produktionsbeginn oder Umstellung von Produktionsprozessen),
 - Veränderung der Produkttechnologie oder
 - Unsicherheiten in der Kostenplanung (z.B. beschränkte Information über neue Produktionsverfahren oder die Entwicklung von Wechselkursen).
4. Den Target Costs werden die zu erwartenden **tatsächlichen Produktkosten** (aus Schätzungen oder Berechnungen) gegenübergestellt. Da die zu erwartenden Produktkosten sich im Entwicklungsprozess laufend ändern, werden diese auch als Drifting Costs bezeichnet.¹⁰¹ Diese beinhalten sowohl selbst hergestellte Bauteile als auch zugekaufte Bauteile und Montagekosten, somit kann die Kalkulation nur in enger Kooperation mit dem Einkauf und der Produktion entstehen.
5. Nachdem die Zielkosten für das gesamte Produkt festgelegt wurden, ist der nächste Schritt die **Aufspaltung der Zielkosten** auf die Produktkomponenten. Ein Hilfsmittel hierfür kann die Wertanalyse sein.¹⁰² Falls es Vorgängerprodukte gibt, kann die Aufspaltung hilfsweise im gleichen Maßstab vorgenommen werden – gegebenenfalls müssen neue Gewichtungen eingeführt werden, falls einzelne Funktionen im neuen Produkt im Vergleich zu

¹⁰⁰ Vgl. z.B. Burger, 1999, S. 19 und Horvath, 1998, S. 521.

¹⁰¹ Vgl. Keating/Sakurai, 1994, S. 88.

¹⁰² Vgl. Franz, 1993, S. 129 f.

3 Stand der Erkenntnisse

anderen Funktionen überproportional leistungsfähiger werden sollen. Entscheidend für die Akzeptanz und die Wirksamkeit der Zielkosten auf Komponentenebene sind über alle Komponenten durchgängig angemessene Anspannungsgrade (Verhältnis zwischen Zielkosten und Ist-Kosten). Dies beinhaltet keineswegs identische Anspannungsgrade, sondern Angemessenheit in Bezug auf zu erwartende Kostensenkungspotentiale.

6. Im Anschluss an die Festlegung und Aufspaltung der Zielkosten folgen Aktivitäten zur **Zielkostenerreichung**. Für diese Aktivitäten sind möglicherweise mehrere Iterationsschleifen notwendig. Der Prozess der Zielkostenerreichung lässt sich gut als Regelkreis verdeutlichen (vgl. Abbildung 24). Nur ein geschlossener Zielkosten-Regelkreis, in dem alle beteiligten Glieder mit akzeptabler Verzögerung und Genauigkeit funktionieren, kann auch zum gewünschten Ergebnis führen.

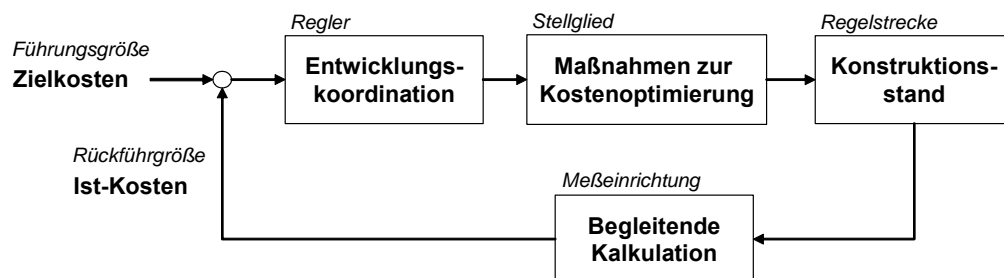


Abbildung 24: Regelkreis zur Erreichung der Zielkosten im Produktenstehungsprozess¹⁰³

3.4.3 Quality Gates

Zielsetzung

Quality Gates dienen dem Qualitäts- und Fortschrittscontrolling von Entwicklungsprozessen. Ein Quality Gate wird definiert als "ergebnisorientierter Beurteilungspunkt innerhalb eines Entwicklungsprozesses, an dem vereinbarte Leistungen auf ihre vollständige Erfüllung überprüft werden"¹⁰⁴. In Abgrenzung zur Meilenstein-Logik darf ein Quality Gate erst nach Erreichung der vorgegebenen und exakt definierten Leistungen und einer positiven Entscheidung der Geschäftsleitung passiert werden. Weitgehend synonym zum Begriff Quality Gate werden vereinzelt die Begriffe Stage Gate (insbesondere in den USA), Reifestufe/Reife-

¹⁰³ Eigene Darstellung.

¹⁰⁴ Wildemann, 2001, S. 31.

3 Stand der Erkenntnisse

grad (Automobilindustrie), Synchronpunkt¹⁰⁵, Kommunikationspunkt, Gateway und Convergent Point verwendet.¹⁰⁶

Vorgehensweise

Bei der Planung und Implementierung von Quality Gates sollte über die enge Zusammenarbeit mit allen beteiligten Mitarbeitern die Nutzung von Erfahrungen, das Wissen um kritische Aspekte aus vergangenen Projekten und nicht zuletzt die Akzeptanz sichergestellt werden.¹⁰⁷ Die Erarbeitung eines Quality Gate – Konzeptes vollzieht sich in den folgenden Schritten:¹⁰⁸

1. Identifizierung der Quality Gates über Input-Output-Betrachtungen und die Ableitung eines **idealtypischen Referenzprozesses**: Es sollte sich bei den Quality Gates um einschneidende Zeitpunkte im Entwicklungsprozess zwischen aufeinander folgenden Phasen handeln, die Entscheidungen von der Unternehmensleitung verlangen (beispielsweise Prototypenbau, Kunden-erstmuster, Bestellung von Modelleinrichtungen). Quality Gates sollten zu Beginn des Referenzprozesses in kurzer Folge stattfinden, da in frühen Phasen die Einflussmöglichkeiten maximal sind.¹⁰⁹ Die Anzahl der Quality Gates sollte nicht so gering sein, dass über längere Zeit Ressourcen unkontrolliert bleiben, aber auch nicht so groß, dass der Zeitaufwand für die Vorbereitung und Durchführung der Review-Meetings überproportional ansteigt. Üblich sind etwa vier bis zehn Quality Gates für Neuproduktentwicklungen. Die Dauern der Phasen lassen sich in der Regel nicht für alle Projekte schematisch vorgeben – stattdessen sollten sie zu Beginn der einzelnen Projekte abhängig von den spezifischen Bedingungen vereinbart werden.
2. **Detaillierte Ausarbeitung** der Quality Gates: So messbar und konkret wie möglich sollten die Bedingungen für das Passieren jedes einzelnen Quality Gates festgelegt werden. Die Quality Gates sollten so umfassend definiert sein, dass die erfolgskritischen Beiträge aller Funktionsbereiche eingeschlossen sind.

¹⁰⁵ Vgl. zum Synchronisationsaspekt ein Projekt zur Einführung von Quality Gates in der Entwicklung von Verpackungsmaschinen: Wesentliches Ziel dabei war die Synchronisierung der Disziplinen Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software (Stetter, 2003).

¹⁰⁶ Vgl. u.a. Cooper, 2001; Gessner/Helling/Brunner, 1999 und Scharer, 2002, S. 36 f.

¹⁰⁷ Erfahrungen aus Praxis-Projekten zur Definition von Referenzprozessen und Quality Gates haben gezeigt, dass die Implementierung häufig scheitert, wenn die Methode von einer Stabsstelle oder einer Beratergruppe erstellt wird und die betroffenen Mitarbeiter nicht genügend involviert werden: Vgl. Longmuß, 2003, S. 66.

¹⁰⁸ Vgl. Wildemann, 2001, S. 31-34; Cooper, 2001, S. 310-351; Spath/Scharer/Nesges, 2003, S. 73-76.

¹⁰⁹ Vgl. Spath/Scharer/Landwehr/Förster/Schneider, 2001, S. 1545.

3. Definition der **Quality Gate–Review–Meetings**: Der Teilnehmerkreis und die Art der Entscheidungen müssen geklärt werden. Üblicherweise nehmen Vertreter der Unternehmensleitung als "Kunden" teil, Mitarbeiter des Projektteams als "Lieferanten". Mögliche Entscheidungen des Quality–Gate–Reviews sind in der Regel (vgl. Abbildung 25): a) Reguläre Fortsetzung des Projekts mit der nächsten Phase ("GO"), b) Fortsetzung des Projekts unter Auflagen oder mit Richtungsänderungen ("Conditional GO"), c) Anhalten des Projekts ("HOLD") und d) Abbruch des Projekts ("KILL").

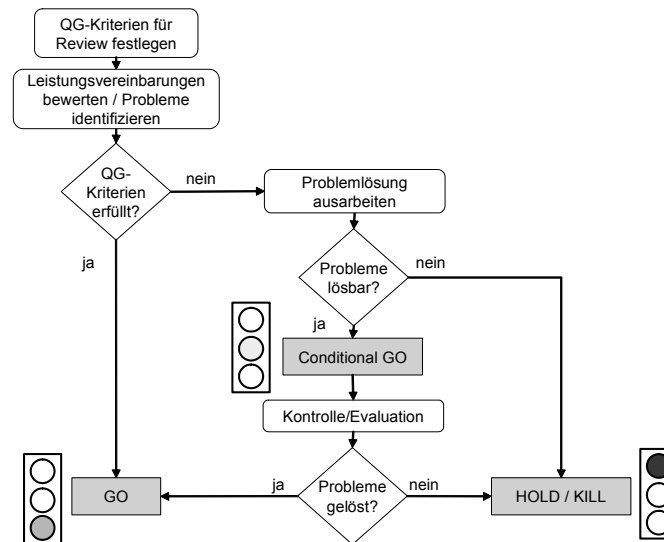


Abbildung 25: Entscheidungsprozesse am Quality Gate¹¹⁰

4. **Implementierung** der Quality Gate – Systematik für zukünftige Entwicklungsprozesse: Dazu muss ein Mitarbeiter (oder ein Team) als "Process-Owner" fungieren, der die konsequente Anwendung sicherstellt und das Konzept auf einzelne Projekte anwendet und an im Laufe der Zeit geänderte Bedingungen anpasst. Dies könnte ein Mitarbeiter aus der Controlling-Abteilung, der Entwicklungs-Abteilung oder aus einer Stabsabteilung sein.

3.4.4 Concurrent Engineering

Zielsetzung

Das Ziel von Concurrent Engineering (etwa synonym: Simultaneous Engineering, integrierte Produktentwicklung) besteht darin, die Entwicklungszeit drastisch zu reduzieren und die Wettbewerbsfähigkeit der entwickelten Produkte zu erhöhen.¹¹¹ Über die Parallelisierung und Verzahnung von Entwicklungsaktivitäten soll die Zeitspanne von der Produktidee bis zur Markteinführung verkürzt werden. Über die interdisziplinäre Zusammenarbeit sollen marktgerechte Produkte (in Bezug auf

¹¹⁰ Angelehnt an: Spath/Scharer/Landwehr/Förster/Schneider, 2001, S. 1545.

¹¹¹ Vgl. auch Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 145 f.

3 Stand der Erkenntnisse

Kosten und Qualität) forciert werden. Triebkräfte für die Einführung der Concurrent Engineering-Methode sind die Verkürzung von Produktlebenszyklen, ansteigende Wettbewerbsintensität und die Fortschritte in der digitalen Erzeugung, Verarbeitung und Weitergabe von Produktdaten.¹¹²

Vorgehensweise¹¹³

Concurrent Engineering umfasst drei Prinzipien:

- Parallelisierung und Überlappung von Arbeitsschritten (aktivitätenübergreifende Integration),
- interdisziplinäre Zusammenarbeit (funktionale Integration) und
- Durchgängigkeit der Informationsflüsse (Daten-Integration).

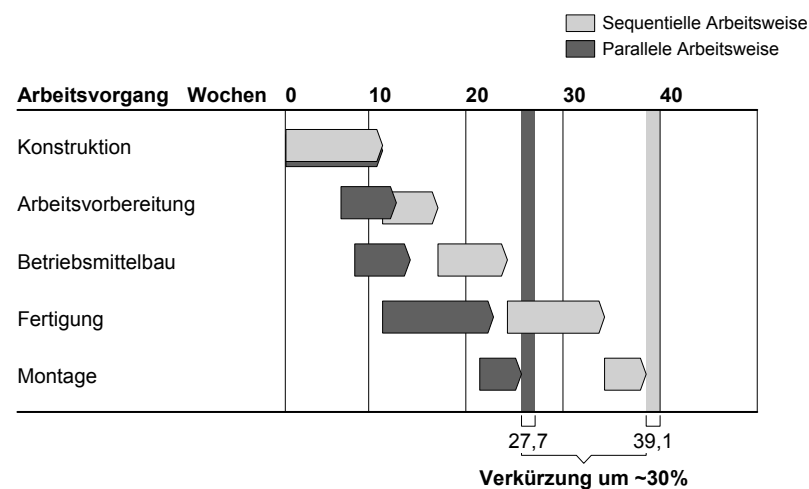


Abbildung 26: Parallelisierung von Phasen der Produktentstehung im Maschinenbau¹¹⁴

In der traditionellen Produktentwicklung erfolgen die Arbeitsschritte, insbesondere an den Übergabepunkten zwischen zwei Fachabteilungen, überwiegend sequentiell. Das Concurrent Engineering sieht vor, die voneinander unabhängigen Arbeitsschritte zu parallelisieren und voneinander abhängige Arbeitsschritte überlappend zu gestalten. Damit kann die Entwicklungszeit im Maschinenbau um durchschnittlich 30% verkürzt werden (vgl. Abbildung 26). Voraussetzung für die dargestellten Überlappungen ist das Aufsetzen auf noch unfertigen Datenständen. Beispielsweise wird von der Arbeitsvorbereitung verlangt, bereits Fertigungsschritte zu planen, bevor die Konstruktion vollständig vorliegt. Dies ist nur dann

¹¹² Vgl. Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 44-46; Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 145-150 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 180-183.

¹¹³ Vgl. Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 44-46; Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 145-150 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 180-183.

¹¹⁴ VDMA, 1992.

3 Stand der Erkenntnisse

möglich, wenn entweder bestimmte Module von der Konstruktion definitiv fixiert worden sind ("Design Freeze") oder die Konsequenzen der finalen Konstruktionsänderungen von der Arbeitsvorbereitung in den Planungsunterlagen "nachgezogen" werden. Von Fachabteilungen, die nachfolgenden Abteilungen zuliefern, wird also verlangt, priorisiert bestimmte Arbeitsanteile fertigzustellen und von den nachfolgenden Abteilungen wird erwartet, flexibel auf Änderungen zu reagieren und möglicherweise Arbeitsunterlagen mehrfach zu überarbeiten. Insgesamt ergibt sich damit in jedem Fall ein personeller Mehraufwand, also Beschleunigungskosten.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist eine Voraussetzung für die Parallelisierung und bewirkt zudem eine Qualitätssteigerung der Produktentwicklung. Im Rahmen eines Concurrent Engineering ist es nicht mehr möglich, abgeschlossene Zwischenergebnisse mehr oder weniger kommentarlos an die nächste Fachabteilung weiterzugeben. Die Abteilungen, die auf unreifen Datenständen aufsetzen, erwarten detaillierte Erklärungen zum Reife- und Konkretisierungsgrad des Arbeitsstands. Somit ist es notwendig, dass alle an der Produktentwicklung beteiligten Abteilungen in einem gemeinsamen Entwicklungsteam zusammenarbeiten. Vorteile der interdisziplinären Zusammenarbeit sind ein besseres Verständnis für die benachbarten Disziplinen, unkonventionelle, ganzheitliche Anregungen für Problemlösungen und stark reduzierte Verluste beim Informationstransfer über Fachabteilungen hinweg. Insgesamt erhöht sich damit die Qualität der Entwicklung: Die Konstrukteure erhalten beispielsweise über die Kooperation mit den Marketing-Fachleuten ein besseres Verständnis für die tatsächlichen Kundenbedürfnisse und umgekehrt wächst in den Marketing- und Vertriebs-Abteilungen das Verständnis für die technische Umsetzbarkeit von Anforderungen. Anregungen aus der Fertigungsvorbereitung und der Arbeitsplanung ermöglichen über fertigungsgerechte Konstruktionslösungen tiefere Fertigungs- und Materialkosten. Frühzeitig involvierte Einkaufs-Fachleute bringen ihr Wissen über die globalen Beschaffungsmärkte ein und bewirken die optimale Nutzung des Lieferanten-Know-hows.¹¹⁵

Die Durchgängigkeit der Informationsflüsse ist eine Voraussetzung für die reibungslose aktivitäten- und funktionenübergreifende Integration und eröffnet ganz neue Möglichkeiten für die interdisziplinäre Zusammenarbeit (vgl. dazu die im Abschnitt 3.5.2 zum Produktdatenmanagement beschriebenen Werkzeuge).

¹¹⁵ Vgl. Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann, 2003, S. 44-46; Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 145-150 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 180-183.

3.5 Informations- und kommunikationstechnische Voraussetzungen

Zu den Voraussetzungen der verteilten Produktentwicklung zählen sowohl die Schaffung von informations- und kommunikationstechnischen Voraussetzungen der Zusammenarbeit in Form des Produktdatenmanagements, als auch der Einsatz moderner Kommunikationstechnologien.

3.5.1 Kommunikationstechnologien

Zielsetzung

Die Kommunikation, der Austausch von Informationen zwischen Personen, ist gerade in der Produktentwicklung von großer Bedeutung. So stuften in einer Umfrage unter 70 produzierenden Unternehmen im deutschsprachigen Raum knapp 80% Gespräche mit Kollegen als sehr wichtige Informationsquelle für Entwickler und Konstrukteure ein.¹¹⁶ Die Bedeutung der Kommunikation in der Produktentwicklung erklärt sich aus dem hohen Anteil kreativer Tätigkeiten, der Bedeutung von Erfahrungswissen und dem Spezialisierungsgrad innerhalb bestimmter Branchen und Teilgebiete. Für verteilte Produktentwicklungsprojekte stellt somit die über Entfernungen¹¹⁷ und möglicherweise über Sprachbarrieren¹¹⁸ erschwerte Kommunikation eine besondere Herausforderung dar.

Eine Gegenüberstellung der zur Zeit verfügbaren Kommunikationsmedien zeigt die Vorteile der meist genutzten Medien Telefon und E-Mail auf: Kosten und infrastrukturelle Voraussetzungen sind gering (vgl. Tabelle 4). Allerdings ist in beiden Fällen auch die soziale Präsenz der Kommunikationspartner gering. Somit ist absehbar, dass Unternehmen zunehmend in den Ausbau der visuell unterstützten Medien, insbesondere Videokonferenzen (z.B. über Webcams direkt am Arbeitsplatz), investieren werden. Für bestimmte Anwendungsbereiche, z.B. im Austausch von Fachexperten, dürften auch die kostengünstigen, bisher jedoch im professionellen Bereich weniger verbreiteten, textbasierten Konferenzsysteme und Newsgroups an Bedeutung gewinnen.

¹¹⁶ Vgl. Sabisch/Tintelnot, 1997, S. 207.

¹¹⁷ So kommt eine empirische Untersuchung zu dem (nicht überraschenden) Schluss, dass die Ko-Lokation von FuE-Teams die Kommunikation zwischen den Teams entscheidend verbessert (Van den Bulle/Moenert, 1997, S. 18-24).

¹¹⁸ Hauschildt/Vollstedt untersuchen die Vor- und Nachteile einer einheitlichen Unternehmenssprache. Unterschiedliche Sprachen stellen eine Barriere für die Verständigung zwischen Ländergesellschaften dar und verursachen somit Kosten durch Informationsverluste oder verzögerten Informationsaustausch und Übersetzungsaufwand. Da eine Unternehmenssprache jedoch ebenfalls höhere Personalkosten verursacht (durch Anwerbung von Mitarbeitern mit Sprachkompetenzen oder Förderung von Sprachunterricht), ist situations- und aufgabenbezogen abzuwägen, welche Reichweite die Unternehmenssprache haben soll und ob es eine oder zwei Unternehmenssprachen geben soll (vgl. Hauschildt/Vollstedt, 2002, S. 173-183).

3 Stand der Erkenntnisse

	Nutzen			Aufwand	
	Teilnehmer	Soziale Präsenz	Daten-austausch	Kosten	Infra-struktur
Synchrone¹¹⁹ Kommunikationsmedien					
Telefon	2	Gering	Gering	Gering	Gering
Telefonkonferenz ¹²⁰	~100	Gering	Gering	Gering	Gering
Videokonferenz ¹²¹	~10	Hoch ¹²²	Gering	Hoch	Sehr hoch
Textbasiertes Konferenzsystem ¹²³	Unbegrenzt	Sehr gering	Gering	Gering	Mittel
Shared Whiteboard	Unbegrenzt	Sehr gering	Hoch	Sehr hoch	Hoch
Application Sharing	Unbegrenzt	Sehr gering	Hoch	Sehr hoch	Hoch
Asynchrone¹²⁴ Kommunikationsmedien					
E-Mail ¹²⁵	Unbegrenzt	Gering	Hoch	Gering	Gering
Post	2	Gering	Mittel	Gering	Gering
Fax ¹²⁶	2	Gering	Mittel	Gering	Gering
Voice Mail	Unbegrenzt	Mittel	Gering	Gering	Mittel
Newsgroups ¹²⁷	Unbegrenzt	Gering	Gering	Mittel	Mittel
Elektronische Kalender	Unbegrenzt	Gering	Gering	Mittel	Mittel
Workflow-Management-Systeme ¹²⁸	Unbegrenzt	Gering	Hoch	Hoch	Hoch

Tabelle 4: Bewertung von synchronen und asynchronen Kommunikationsmedien nach Nutzen und Aufwand¹²⁹

¹¹⁹ Synchrone Medien erlauben eine Gleichzeitigkeit der Sendung und des Empfangs von Informationen.

¹²⁰ Vgl. Jansen/Langenberg, 2003, S. 305.

¹²¹ Vgl. Schmitz, 1999, S. 5 f.

¹²² Vgl. Baars, 2003, S. 25-36.

¹²³ Vgl. Galla, 2004, S. 36 f.

¹²⁴ Asynchrone Medien erlauben nicht die Gleichzeitigkeit der Sendung und des Empfangs von Informationen.

¹²⁵ Vgl. Häckelmann/Petzold/Strahringer, 2000, S. 480.

¹²⁶ Vgl. Koppenhöfer/Johannsen/Kremer/Bumiller, 1998, S. 124 f.

¹²⁷ Vgl. Häckelmann/Petzold/Strahringer, 2000, S. 484.

¹²⁸ Vgl. Gesterkamp/Mendgen, 2002, S. 170-175.

¹²⁹ Eigene Darstellung.

3.5.2 Produktdatenmanagement

Zielsetzung

Das Produktdatenmanagement verfolgt das Ziel, die Generierung, Handhabung, Speicherung und Weitergabe von Produktdaten über die Wertschöpfungskette hinweg effizient zu gestalten.¹³⁰ Die folgende Darstellung beschränkt sich im Wesentlichen auf das rechnergestützte Produktdatenmanagement in der Entwicklung, sowie die technischen Voraussetzungen dafür.

Funktionsweise

Produkt- und produktionsprozessbezogene Daten werden mittlerweile weitgehend elektronisch gehandhabt. Die größten Herausforderungen für das Produktdatenmanagement bestehen in der Digitalisierung und Sicherstellung der Verfügbarkeit von Daten in den frühen Phasen der Entwicklung, der Übertragung von produktbeschreibenden zu prozessbeschreibenden Datensätzen und im Austausch von Produktdaten über unterschiedliche Dateiformate hinweg.¹³¹

Arbeitsplatz-Vernetzung

Die Vernetzung mehrerer Entwickler-Arbeitsplätze kann grundsätzlich über Peer-to-Peer-Systeme, Zentralrechner oder Client/Server-Strukturen durchgeführt werden. Peer-to-Peer-Systeme, also die direkte Vernetzung von Arbeitsplatzrechnern, kommen nur für recht kleine Arbeitsgruppen in Frage, da die Abwesenheit einer zentralen Koordination die Verwaltung größerer Datenmengen und Vorgänge ab einer bestimmten Anzahl von Arbeitsplätzen unmöglich macht. Zentralrechner mit reinen Datenein- und Datenausgabe-Terminals für die Arbeitsplätze sind in der Regel nicht flexibel genug, um sich den wechselnden und komplexen Aufgaben der Entwickler anzupassen. Deswegen trifft man in Unternehmen in der Regel auf Client-/Server-Technologien. Diese verbinden die Bereitstellung zentraler Netzwerkverwaltung, Dienste und Datenhaltung (verwaltet über die Server) mit der Flexibilität selbständiger Arbeitsplatzrechner (den Clients).¹³²

Umfang der Produktdaten

Ein ganzheitlicheres Verständnis von Produktdatenmanagement bezieht nicht nur die Geometriedaten im engeren Sinne mit ein, sondern erstreckt sich auch auf alle anderen Dokumente im Produktleben, beispielsweise Anforderungslisten und me-

¹³⁰ Vgl. zu den Teilaufgaben des Dokumentenmanagements: Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 286 f.

¹³¹ Vgl. Birkhofer/Nötzke, 2000, S. 471-474.

¹³² Vgl. Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 85-87 und Häckelmann/Petzold/Strahringer, 2000, S. 196-199.

3 Stand der Erkenntnisse

chatronische Simulationsmodelle. Im Idealfall wird eine Durchgängigkeit und Konsistenz erreicht, die dazu beitragen kann:

- den manuellen Aufwand in der Datenverarbeitung zu minimieren,
- die Identifikation von Fehlerursachen in der Montage oder im Gebrauch zu beschleunigen,
- die Datenverfügbarkeit zu erhöhen,
- die Qualität der Informationen für unternehmensinterne und –externe Ansprechpartner zu steigern und
- die Überholung und Entsorgung der Produkte kostengünstig und umweltfreundlich zu gestalten.¹³³

Simultane Bearbeitung von Produktdaten

Die Regel für verteilte Entwicklungen ist die simultane Bearbeitung von Produktdaten durch mehrere Anwender. Voraussetzung ist, dass alle Anwender auf einen identischen Datenbestand in Echtzeit Lese- und Schreibzugriff haben – dazu werden ein integriertes Produktdatenmodell und eine leistungsfähige Datenübertragung benötigt. Durch die vielfältigen Verknüpfungen zwischen den Elementen des Produktdatenmodells entsteht bei simultaner Bearbeitung die Gefahr des Konsistenzverlustes der Produktdaten. Operationen, die potentiell zu Inkonsistenzen führen können, sind:

- Erzeugen von Objekten,
- Modifizieren von Objekten und
- Löschen von Objekten.

Das Erzeugen von Objekten ist in der Regel unproblematisch, da nicht in die Datenbestände anderer Mitarbeiter eingegriffen wird. Allerdings kann es bei einer regelmäßigen Erzeugung von Varianten zu Inkonsistenzen innerhalb von Baureihen, zu einer unübersichtlichen und unnötig großen Variantenvielfalt und zu langen Änderungsketten kommen. Modifikationen innerhalb von Objekten ohne Änderung der Schnittstellen, wie zum Beispiel Anschlussmaßen, sind meist unkritisch, falls die Objekte noch nicht von im Entwicklungsprozess nachgeordneten Stellen verwendet werden (z.B. Arbeitsvorbereitung). Kritisch für die verteilte Entwicklung sind in jedem Fall Umstellungen von Objekten und das Löschen von Objekten. In beiden Fällen sind angrenzende Objekte, untergeordnete Objekte und abgeleitete Daten (z.B. Finite-Elemente- oder Simulationsmodelle) betroffen. Diese Operationen setzen unbedingt eine Diskussion zwischen den Entwicklungs-

¹³³ Vgl. Anderl/Gräb, 2000, S. 5 f. Ein internationaler Standard für den Austausch von Produktdaten ist STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data). STEP ist in der ISO-Norm 10303 niedergelegt und beinhaltet theoretisch alle Produktdaten im Entwicklungsprozess. Die verfügbare Software beschränkt sich jedoch in der Regel auf den reinen Austausch von Geometrie-Daten zwischen CAD-Systemen.

ingenieuren voraus, um die Auswirkungen auf die Kosten, die Entwicklungszeit und die Qualität abzuwägen. Dieser Informationsaustausch kann entweder vor Ort oder über ein leistungsfähiges Kommunikationssystem erfolgen.¹³⁴

3.6 Konzeptions- und Validierungsinstrumente

Während Produktdatenmanagement und Kommunikationstechnologien unbedingte Voraussetzungen für erfolgreiche Produktentwicklungen sind, gibt es im Bereich der Konzeptions- und Validierungsinstrumente eine Vielfalt von teilweise untereinander substituierbaren Ansätzen.

3.6.1 Instrumente zur Unterstützung der Konzeption

Die Instrumente zur Entwicklungsunterstützung in der Produktkonzeption zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen wertvollen Beitrag im Verlauf des Entwicklungsprozesses leisten können, jedoch keinen universellen Anspruch haben. Ihre Anwendbarkeit und Wirksamkeit hängt vom konkreten Entwicklungskontext ab. Zusätzlich zu den beiden im Folgenden beschriebenen Instrumenten TRIZ und methodisches Konstruieren sind auch die Bewertungsansätze für technische Produkte zu den Konzeptionsinstrumenten zu zählen. Diese wurden jedoch bereits im Unterkapitel 3.3 erörtert.

3.6.1.1 TRIZ

Zielsetzung

TRIZ, die Theorie des erfinderischen Problemlösens (Akronym gebildet aus der russischen Bezeichnung "Teoria reshenija izobretatjelskikh zadach"), hat zum Ziel, technische Probleme systematisch, zielorientiert und auf innovative Weise zu lösen. Dabei soll sowohl der Prozess der Problemlösung vorgezeichnet, als auch das notwendige Wissen zur Verfügung gestellt werden. Das Werkzeug basiert auf der Analyse mehrerer zehntausend Patent- und Schutzrechtsschriften mit dem Ziel, Gemeinsamkeiten in den Problemstellungen und technischen Lösungen zu entdecken. Es wurde im Wesentlichen von Altschuller entwickelt.¹³⁵

Vorgehensweise

Das allgemeine Vorgehen von TRIZ besteht darin:

1. Ein spezielles technisches Problem zu verallgemeinern,
2. den inneren Widerspruch (den Kern des Problems) offenzulegen,
3. systematisch alle denkbaren Lösungen für den Widerspruch abzuleiten und diese dann

¹³⁴ Vgl. Sanft, 1995, S. 90 f.

¹³⁵ Vgl. Altschuller, 1998, S. 21-52 und Wenzke, 2003, S. 17f.

4. auf das spezielle Problem anzuwenden.¹³⁶

Ein Widerspruch entsteht dann, wenn zwei gewünschte Ziele einander widersprechen – wenn also der Vorteil im Hinblick auf ein Ziel (sogenannter "Plus-Faktor") zwingend einen Nachteil im Hinblick auf ein anderes Ziel (sogenannter "Minus-Faktor") bedeutet. Die möglichen Plus- und Minus-Faktoren sind generisch beschrieben und erfasst, insgesamt 39 dieser Faktoren sollen alle vorkommenden Ziele abdecken (z.B. Produktivität, Universalität, Automatisierungsgrad, Zuverlässigkeit, Herstellungspräzision, Form, Geschwindigkeit, Zeitverlust, Energie). Eine Matrix aus 39 Plus- X 39 Minus-Faktoren enthält Verweise auf jeweils bis zu vier prinzipielle Lösungsmöglichkeiten. Diese prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten werden als A-Navigatoren (A für Algorithmus) bezeichnet. Insgesamt sind 40 verschiedene A-Navigatoren definiert, dazu gehören beispielsweise Wechsel im Aggregatzustand des Objekts, Segmentierung, Austausch des Materials, Umkehrung des Vorgangs, Vervielfältigung, Asymmetrie und Vereinigung.¹³⁷

3.6.1.2 Methodisches Konstruieren¹³⁸

Zielsetzung

Das Methodische Konstruieren gliedert sich in die Phasen des methodischen Klärens und Präzisierens der Aufgabenstellung, des methodischen Konzipierens und des methodischen Entwerfens. Die Ziele umfassen demnach

- a) die Klärung der Zielvorstellungen des (internen oder externen) Auftraggebers,
- b) die umfassende Erarbeitung des prinzipiellen Lösungsraums und
- c) die Erarbeitung einer vollständigen und eindeutigen Baustruktur.

Vorgehensweise

- a) Klärung der Aufgabenstellung: Die Zielvorstellungen werden in einer Anforderungsliste definiert. Dazu werden zunächst Grund-, Attraktivitäts- und Leistungsanforderungen geklärt (vgl. dazu auch das Kano-Modell im Abschnitt 3.3.4). Dabei wird unterschieden in Forderungen (obligatorisch) und Wünsche (nicht obligatorisch). Um vor der endgültigen Festlegung die Richtigkeit und Vollständigkeit der Anforderungsliste sicherzustellen, haben sich eine Leitlinie mit einer Hauptmerkmalliste und die Szenariotechnik bewährt.

¹³⁶ Vgl. Wenzke, 2003, S. 18.

¹³⁷ Vgl. Orloff, 2003, S. 46-129 und S. 295-310.

¹³⁸ Vgl. zum gesamten Abschnitt Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 187-521.

3 Stand der Erkenntnisse

- b) Methodisches Konzipieren: Beispielhaft für das systematische Vorgehen beim methodischen Konstruieren wird die morphologische Analyse (synonym: morphologischer Kasten) als ein besonders geeignetes Ordnungsschema vorgestellt. Der Ansatz geht zurück auf den Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky.¹³⁹ Das Vorgehen gliedert sich in die Schritte:
1. Analyse der (etwa drei bis sieben) Teilfunktionen des Produkts,
 2. Erarbeitung des Spektrums an Teil-Lösungen für jede Teilfunktionalität (Darstellung sowohl von bekannten, als auch von kreativen und unkonventionellen isolierten Teil-Lösungen),
 3. Synthese von alternativen Gesamtlösungen unter Ausschluss von technisch unverträglichen Kombinationslösungen und
 4. Bewertung aller verbleibenden Alternativen und Auswahl der weiter zu verfolgenden Gesamtlösung.¹⁴⁰
- c) Methodisches Entwerfen: Zunächst sind gestaltungsbestimmende Anforderungen zu identifizieren und die räumlichen Bedingungen zu klären. Die Reihenfolge der Gestaltung im methodischen Entwerfen richtet sich dann im Wesentlichen nach der Unterscheidung in gestaltbestimmende Hauptfunktionsträger (zu Beginn) und nicht-gestaltbestimmende Hauptfunktionsträger sowie Nebenfunktionsträger (zum Abschluss). Anschließend an die Grob- und Feingestaltung alternativer Entwürfe erfolgen eine Gesamtbeurteilung und die Freigabe zum abschließenden Optimieren, zur Fehlerkontrolle und zur Vervollständigung der vorläufigen Stückliste und der vorläufigen Fertigungsunterlagen.

Die in der Methodik vorgegebenen Arbeitsschritte sind gegebenenfalls an besondere Randbedingungen wie z.B. Variantenentwicklungen (Verkürzung bzw. Entfall bestimmter Konstruktionsschritte) und unvorhergesehene Herausforderungen (führen im ungünstigsten Fall zur Rückkehr in die Phase der Konzipierung) anzupassen.

3.6.2 Instrumente zur Unterstützung der Validierung

Die zur Zeit am stärksten diskutierten Instrumente zur Unterstützung der Validierung im Entwicklungsprozess von Werkzeugmaschinen beruhen primär auf den Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung. Bereits zum Standard-

¹³⁹ Vgl. Zwicky, 1966.

¹⁴⁰ Vgl. Birkhofer, 2001 und Birkhofer, 1980, S. 117-166. Vgl. zudem ein Anwendungsbeispiel für den Werkzeugmaschinenbau bei: Wahl, 2000, S. 83. Wahl entwickelt ein Spektrum von technischen Lösungen für Achskonzepte eines Fräsbearbeitungszentrums in den beiden Dimensionen: (1) Definition der Führungachsen X, Y und Z im Hinblick auf die Werkzeug- oder Werkstückführung und (2) Festlegung der prinzipiellen Bauweise als Ausleger/Ständer, Brücke, Portal oder Ausleger/Balken.

3 Stand der Erkenntnisse

Repertoire zählen die Instrumente der Finite-Elemente-Berechnung (FEM) und der Fehler-Möglichkeiten und –Einflussanalyse (FMEA), deswegen werden diese hier nicht behandelt.¹⁴¹ Stellvertretend für die Vielfalt virtueller Prototypen werden im Folgenden die Ansätze zur Gestaltung integrierter virtueller Prototypen, Mehrkörpersimulationsmodelle und Digital Mock-Up erörtert.

3.6.2.1 Integrierte virtuelle Prototypen

Zielsetzung

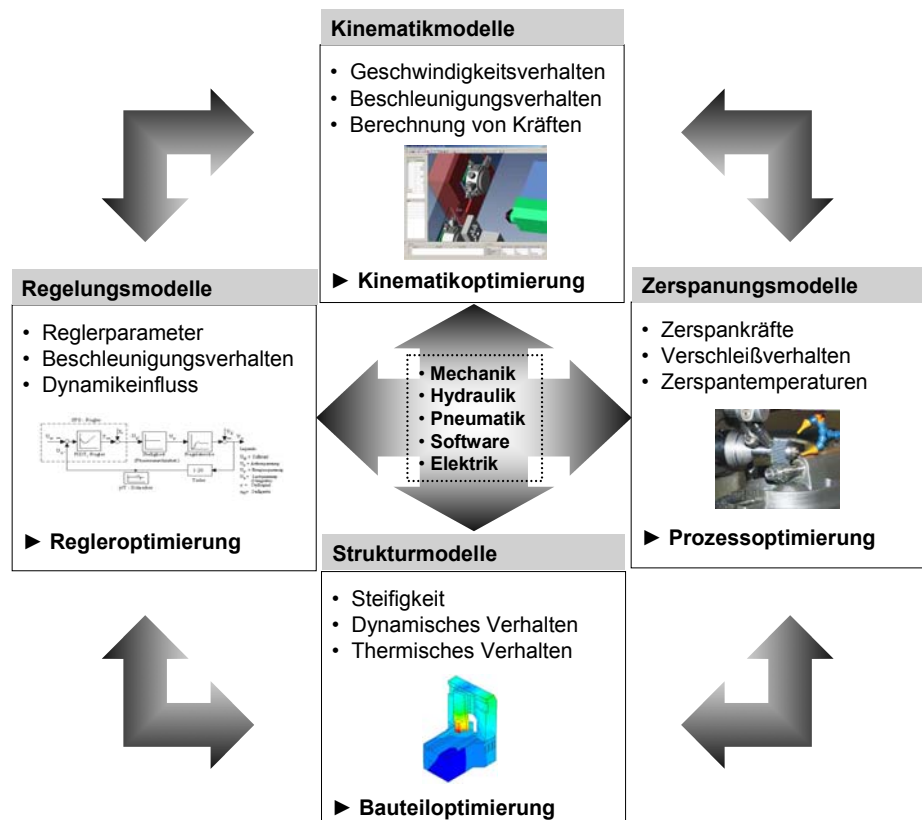


Abbildung 27: Virtuelle Prototypen im Werkzeugmaschinenbau: Interdependenzen der Optimierungsmodelle¹⁴²

Bei der Entwicklung einer Werkzeugmaschine wird in der Regel eine Vielfalt von Partialmodellen generiert, beispielsweise Geometrie-Modelle, Mehrkörper-Modelle, Hydraulik-Modelle, Steuerungs-Modelle, Package-Modelle, Design-Modelle, FEM-Modelle, Ergonomie-Modelle und Temperatur-Modelle (vgl. Abbildung 27). In der Regel sind die Entwicklungsabteilungen von Werkzeugma-

¹⁴¹ Vgl. zur FEM: Milberg, 1995, S. 145 f. und S. 117 und Dammer, 2004; zur FMEA: Specht/Beckmann/Amelingmeyer, 2002, S. 172-174; Reinhart/Lindemann/Heinzl, 1996, S. 86-93 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote, 2005, S. 674-677.

¹⁴² In Anlehnung an: Broos/Melchinger/Schmitz, 2005, S. 17; Rezaei/Stroh, Institute PTW und DIK, TU Darmstadt, noch unveröffentlichte Studie, 2005.

3 Stand der Erkenntnisse

schinenherstellern nach einzelnen Disziplinen aufgestellt. Im frühen Stadium der Entwicklung liegen häufig nur wenige Produktdaten vor und es herrscht eine hohe Änderungsfrequenz. Zur Beschleunigung der Produktvalidierung über die verschiedenen Entwicklungsdisziplinen hinweg und zur Sicherstellung eines einheitlichen Datenstandes ist ein integrierter virtueller Prototyp wünschenswert.¹⁴³

Vorgehensweise

Grundsätzlich gibt es vier Ansätze zur Integration der Produktdaten aus allen Partialmodellen in einen virtuellen Prototypen:¹⁴⁴

1. Integration aller Produktdaten in einer **gemeinsamen Umgebung** ab dem Zeitpunkt ihrer Entstehung. Die zur Zeit vorhandenen Software-Pakete können jedoch noch nicht alle denkbaren mechatronischen Aufgabenstellungen abbilden. Deswegen ist dieser Ansatz nur für wenige Produkte ausreichend.¹⁴⁵
2. Nutzung einer **zentralen, neutralen Datenbank**, die direkt auf die Partialmodelle aus anderen Software-Systemen zurückgreift oder aus der sich die Partialmodelle speisen. Dieser Ansatz ist aktuell noch nicht durchführbar, da es noch kein geeignetes Datenmodell gibt.
3. **Austausch von Daten** zwischen Modellen. Dazu müssen Datentransformationen definiert werden, beispielsweise vom CAD- zum FEM-Modell. Ein integriertes, virtuelles Produkt entsteht dabei nicht. Während das neu entstandene Partialmodell berechnet und optimiert wird, wird möglicherweise gleichzeitig das zugrunde liegende Partialmodell weiter modifiziert.
4. Verknüpfung aller Partialmodelle durch **Randbedingungen**. Die Partialmodelle bleiben jeweils erhalten und für ihren jeweiligen Bereich die einzige Datenquelle. Die Konsistenz wird über die Randbedingungen sichergestellt. Vorteil dieses Ansatzes ist die hohe Flexibilität bei der Verknüpfung von Partialmodellen. Nachteil ist der Zwang zur Einhaltung der Konsistenz zwischen den Partialmodellen über die Entwicklungsiterationen hinweg. Bislang existieren hierfür allerdings nur Software-Prototypen.

¹⁴³ Vgl. Anderl/Gräb, 2000, S. 3 f.; Runde/Fisser, 2004.

¹⁴⁴ Vgl. Anderl/Gräb, 2000, S. 3 f.; Runde/Fisser, 2004.

¹⁴⁵ Vgl. Großmann/Wunderlich, 2000 mit dem Beispiel "Konzept eines Entwurfssystems für eine Parallelkinematik". Da es sich dabei um einen speziellen Maschinentyp für kombinierte Handling- und Bearbeitungsprozesse mit vorher fixierten geometrie- und verhaltensbestimmenden Modellen und lediglich parametrisch generierten Varianten handelte, war die Integration der Partialmodelle in einem Gesamtmodell möglich.

3.6.2.2 Mehrkörper-Simulationsmodelle

Zielsetzung

Während die FEM-basierte Analyse vorwiegend zur Auslegung im Bezug auf statische Belastbarkeit verwendet wird, sind Simulationstechniken geeignet zur Auslegung im Bezug auf Kinematik und dynamische Belastungen. Bei Werkzeugmaschinen hat die Einführung von HSC-Technologien und Linearmotoren zu erhöhten Anforderungen an die Bearbeitungsgenauigkeit unter dynamischen Einflüssen geführt.¹⁴⁶

Der Begriff der Simulation wird nach VDI wie folgt definiert: "... Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind."¹⁴⁷ Das Ziel der Simulation ist die frühzeitige Prognose des Verhaltens eines mechatronischen Gesamtsystems vor dem Aufbau physikalischer Prototypen. In einem mechatronischen System wirken mechanische, elektrische und informationstechnische Komponenten zusammen. Beispielsweise können die mechanischen Komponenten einer Werkzeugmaschine aus Gestellstruktur, Antriebsmechanik und dem Bearbeitungsprozess bestehen. Die elektrischen Komponenten sind die elektrische Antriebstechnik, die Sensorik und die Lageregelung der Einzelachsen, informationstechnische Komponenten können die NC-Bewegungssteuerung und die Prozessüberwachung sein.¹⁴⁸

Vorgehensweise

Zur dynamischen Auslegung kann die Werkzeugmaschine etwa als mechatronisches System aus den Elementen Maschinengestell, Vorschubantrieb, NC-Steuerung, Lageregler und dem Bearbeitungsprozess simuliert werden. Dazu wird ein vereinfachtes Abbild, zum Beispiel als Mehrmassen-Feder-Dämpfer-Modell hergeleitet. Die zu erwartenden dynamischen Belastungen aus Vorfahrbewegungen und Bearbeitungsprozessen werden ebenfalls in das Modell integriert. Daraus können die resultierenden Belastungen, Bewegungsverläufe und Verformungen im Zeitverlauf berechnet werden. Ergebnis der softwaregestützten Simulation ist eine Optimierung des mechatronischen Gesamtsystems, die durch Modifikationen in Bauteilgeometrien (insbesondere Führungen), Regelungsparametern und weiteren Komponenten herbeigeführt wird.¹⁴⁹

Im Einzelnen werden also folgende Schritte durchlaufen:

¹⁴⁶ Vgl. Baudisch/Menzel/Volkwein/Liu, 2002, S. 134-137.

¹⁴⁷ VDI, 1996.

¹⁴⁸ Vgl. Baudisch/Menzel/Volkwein/Liu, 2002, S. 134.

¹⁴⁹ Vgl. Reinhart/Meinlschmidt/Weißenberger, 2000, S. 550-553; Baudisch, 2003, S. 121-139 und Reinhart/Zeller, 2000, S. 492-495.

1. **Systemdefinition:** Die Komponenten und die Verknüpfungen zwischen den Komponenten (Material- und Informationsflüsse), sowie die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems werden erfasst und mit den relevanten Parametern beschrieben.
2. **Modellabstraktion:** Das geplante System wird abstrahierend in einem Gesamtmodell abgebildet (z.B. Masse-Feder-Dämpfer-Modell).
3. **Modellsimulation:** Das Verhalten des Modells im Zeitablauf wird mit Hilfe geeigneter Software simuliert. Die Ergebnisse der Simulation werden auf Plausibilität hin überprüft. Implausible Ergebnisse können durch unvollständige Systemdefinition oder zu stark vereinfachende Modellabstraktion verursacht sein.
4. **Modelloptimierung:** Die Parameter des Modells werden systematisch variiert, um das Systemverhalten in der gewünschten Weise zu beeinflussen (wiederholter Durchlauf der Schritte 3 und 4).¹⁵⁰

3.6.2.3 Digital Mock-Up

Zielsetzung

Unter "Digital Mock-Up" (DMU) versteht man ein digitales, möglichst realitätsnahes und visuell repräsentiertes Modell des Produkts (Mock-Up bedeutet Attrappe). Zielsetzung der DMU-Technik ist die frühzeitige Absicherung von Konzepten im Entwicklungsprozess (sogenanntes "Frontloading"). Die Absicherung bezieht sich sowohl auf die Produkteigenschaften (insb. Bauraumabstimmung, Bedienung, Ergonomie), als auch auf die Absicherung der Herstellprozesse.¹⁵¹ Die Anwendung von DMU ist im Flugzeugbau¹⁵² und in der Automobilindustrie¹⁵³ bereits Industriestandard.

Vorgehensweise

Voraussetzung für die Anwendung von DMU ist das Vorliegen vollständiger 3D-CAD-Daten sowie unterstützender Soft- und Hardware. DMU kann erst dann angewendet werden, wenn ein einheitlicher Datenstand mit ausreichendem Reifegrad (d.h. Freigabe durch die Entwicklungsabteilungen) über das gesamte Produkt vor-

¹⁵⁰ Vgl. Baudisch/Menzel/Volkwein/Liu, 2002, S. 134-137.

¹⁵¹ Vgl. Weber, 2003, S. 21-26, Markworth, 2003, S. 69 f.

¹⁵² Zum Beispiel wurde mit dem durchgängigen Einsatz eines CAD-Geometriemodells bei der Entwicklung der Boeing 777 im Jahr 1987 eine Verminderung der konstruktiven Änderungen um ca. 60% erreicht (vgl. Robok, 1999, S. 40 f.).

¹⁵³ Vgl. Markworth, 2003, S. 69; Volkswagen AG, 2004; Oehlschlaeger/Krebs, 2004.

3 Stand der Erkenntnisse

liegt. Dies stellt bei komplexen Produkten, deren Entwicklung auf Sub-Teams aufgeteilt ist, eine erhebliche Herausforderung dar.¹⁵⁴

Um akzeptable Bearbeitungsgeschwindigkeiten zu erreichen, werden zur Erstellung von DMU-Modellen Algorithmen zur Datenreduktion angewendet. Dazu zählen beispielsweise die Tessellierung (lineare Approximierung von CAD-Daten), die Vereinfachung (z.B. Verringerung der Anzahl an Polygonen), die Datenreduktion (Eliminierung irrelevanter Teile, beispielsweise Innenansichten eines Teils) und die Datenreparatur (einige Software-Anwendungen verlangen ein hohes Maß an Korrektheit, dazu gehört beispielsweise die Eliminierung überlappender Geometrien). Im Idealfall werden diese Datenmanipulationen zum Transfer vom CAD- zum DMU-Modell automatisch ohne Benutzer-Interaktion durchgeführt. Tatsächlich sind häufig dennoch manuelle Bearbeitungen notwendig (beispielsweise zur Beurteilung der ausreichenden Genauigkeit bei Datenvereinfachung und zur Abgrenzung der relevanten Bereiche).¹⁵⁵

¹⁵⁴ Vgl. Markworth, 2003, S. 90-94.

¹⁵⁵ Vgl. Brunetti/Benölken/Rix, 2000, S. 169-180; Oelschlaeger/Krebs, 2004, S. 4 f.

4 Zwischenfazit und Hypothesen

4.1 Ableitung des Handlungsbedarfs

Ausgehend von einem Resümee über die bestehenden Bewertungsmethoden von Produktentstehungsprozessen und technischen Produkten werden Verbesserungspotenziale identifiziert und der Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit aufgezeigt.

4.1.1 Benchmarking von Produktentstehungsprozessen

Die zusammenfassende Beurteilung der Bewertungsmethoden (vgl. Tabelle 5) zeigt, dass die Methoden über sehr unterschiedliche Stärken und Schwächen verfügen. Dies hängt auch damit zusammen, dass die Autoren divergierende Ansätze und Ziele verfolgt haben. Während beispielsweise das Modell von Krause und Heimann auf systemtheoretische Vollständigkeit abzielt, liegt der Schwerpunkt des RACE II – Modells in der praktischen Bewertung und Verbesserung der Erfolgsfaktoren.

Methoden	Zielerreichungsgrad						Ressourcenaufwand	
	Erfolgs-indikatoren	Erfolgs-faktoren	Eignung für WZM-Bau	Eignung für verteilte Entw.	Wettbe-werbsbezug	Vergleich-barkeit Projekte	Informations-beschaffung	Informations-auswertung
Benchmarking nach Schröder (2003)								
RACE II nach de Graaf (1997)								
Prozessmodell nach Krause/Heimann (2000)								
Innovationsprozess nach Werner (2002)								
Prozessmodell nach Wildemann (2004)								

Tabelle 5: Beurteilung ausgewählter Methoden zur Bewertung von Produktentstehungsprozessen¹⁵⁶

Keines der Modelle erreicht eine wirklich überzeugende Konsistenz und Vollständigkeit in der Beschreibung sowohl der Erfolgsfaktoren, als auch der Erfolgsindikatoren. Zudem geht keines der Modelle auf branchen- und unternehmensspezifische Besonderheiten im Werkzeugmaschinenbau ein. Alle übrigen Beurteilungskriterien werden jedoch von mindestens einem der beschriebenen Modelle erfüllt. Damit liegt eine gute Grundlage vor zur Definition eines für die Ziele der vorliegenden Arbeit hinreichenden ganzheitlichen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau.

¹⁵⁶ Eigene Darstellung.

4 Zwischenfazit und Hypothesen

4.1.2 Benchmarking von Fertigungssystemen

In der zusammenfassenden Beurteilung zeigen sich starke Divergenzen im Zielerreichungsgrad und Ressourcenaufwand der bestehenden Methoden (vgl. Tabelle 6). So ist die besondere Stärke des Life-Cycle-Costings der hohe Bezug auf die Maschinenanwender, das Konkurrenz-Benchmarking hat einen direkten Wettbewerbsbezug. Wertanalyse und Quality Function Deployment sind durch ihre tiefgehende Analyse der Kausalzusammenhänge zwischen Kundennutzen und Produktmerkmalen besonders dafür geeignet, Wege zur Schließung möglicher Leistungslücken aufzuzeigen. Das Kano-Modell schließlich eröffnet eine weitere Perspektive auf die Kundensicht unter der doppelten Dynamik des Wettbewerbs des Maschinenanwenders auf der einen Seite und der Maschinenhersteller auf der anderen Seite.

Methoden	Zielerreichungsgrad					Ressourcenaufwand	
	Aufdeckung von Leistungslücken	Schließen von Leistungslücken	Nachvollziehbarkeit/ Objektivität	Kunden-bezug	Wettbewerbs-bezug	Informations-beschaffung	Informations-auswertung
Life Cycle Costing							
Konkurrenz-Benchmarking							
Quality Function Deployment							
Wertanalyse							
Kano-Modell							

Tabelle 6: Beurteilung ausgewählter Methoden zur Bewertung von technischen Produkten¹⁵⁷

Auch hier lässt sich somit zeigen, dass zwar eine Vielfalt aussagefähiger Methoden existiert, es jedoch ebenfalls noch keine Methode gibt, die alle Anforderungen aus Sicht der Werkzeugmaschinen-Hersteller erfüllen kann.

4.2 Hypothesen zur Verknüpfung von Produktenstehungsprozess und dem resultierenden Fertigungssystem

Die Verknüpfungen zwischen den beiden verfolgten Benchmarking-Ansätzen lassen sich in Form einer Matrix darstellen (vgl. Abbildung 28). Positive Einflüsse bestehen beispielsweise zwischen

- dem Einsatz von Quality Gates im Produktentstehungsprozess und einem hohen technischen Reifegrad,
- der Einbindung von Produktion und Lieferanten und einem kostenoptimalen modularen Aufbau, sowie

¹⁵⁷ Eigene Darstellung.

4 Zwischenfazit und Hypothesen

- zwischen der Einbindung von Schlüsselkunden und der optimalen kundenbezogenen Priorisierung der Fertigungssystem-Charakteristika.

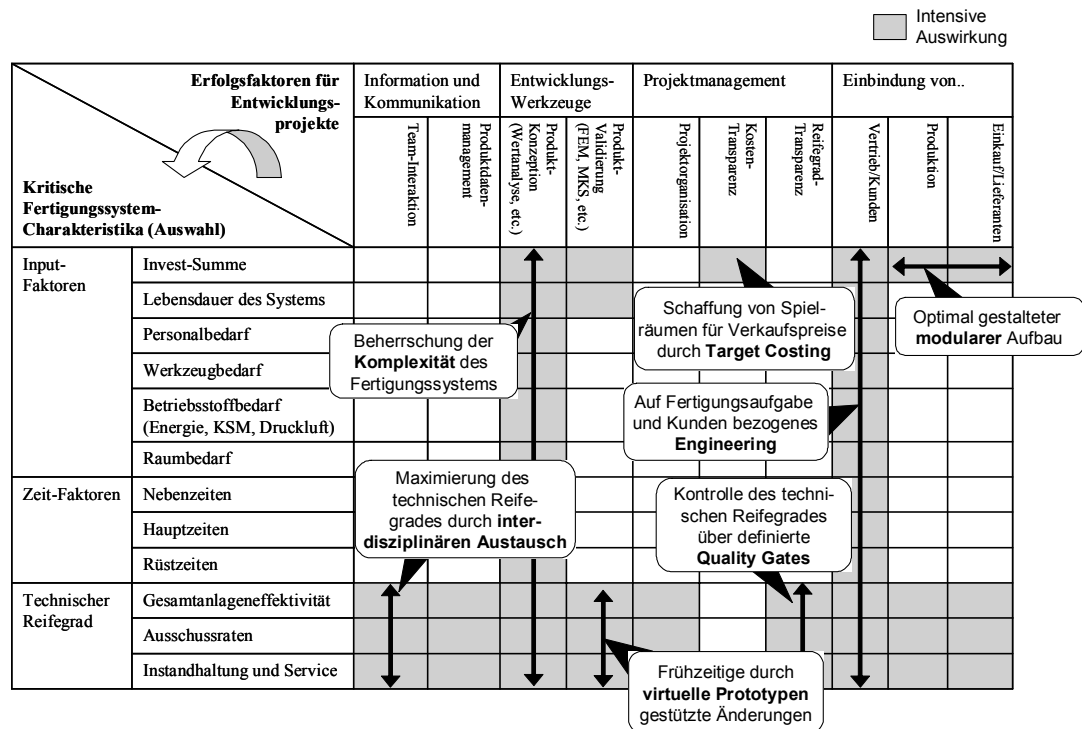


Abbildung 28: Strategische Ansatzpunkte im Produktentstehungsprozess zur kundenoptimalen Maschinenentwicklung¹⁵⁸

¹⁵⁸ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Die im Folgenden vorgestellte neue Methode zum Benchmarking von Fertigungssystemen verfolgt das Ziel, eine umfassende Transparenz über die Wettbewerbsfähigkeit von Fertigungssystemen herzustellen. Es wird ein neuer Ansatz mit universalem Charakter vorgestellt und anschließend exemplarisch in seiner Implementierung gezeigt. Der neue Ansatz ist in dem Sinne ganzheitlich, dass er alle relevanten technischen und betriebswirtschaftlichen Kriterien über die letztlich aus Maschinenanwendersicht entscheidende Größe der Fertigungskosten je Werkstück (über die technische Lebensdauer des Fertigungssystems) integriert. Im Unterschied zu alternativen Ansätzen (vgl. Abschnitt 4.1.2) wird sowohl ein direkter Wettbewerbs- und Kundenbezug und eine umfassende Systembetrachtung als auch ein hohes Maß an Objektivität gewährleistet.

Die Verfahrensschritte entsprechen in ihrer logischen Abfolge dem allgemeinen Benchmarking-Vorgehen (vgl. Unterkapitel 3.1) und werden spezifisch im Hinblick auf die Referenzklasse der Fertigungssysteme gestaltet. Insbesondere zur Bestimmung von Referenzobjekten, sowie zur Ermittlung und Analyse der Leistungslücken werden besonders geeignete und neuartige Herangehensweisen vorgeschlagen.

5.1 Zielsetzungs- und Vorbereitungsphase

5.1.1 Bestimmung von Referenzobjekten

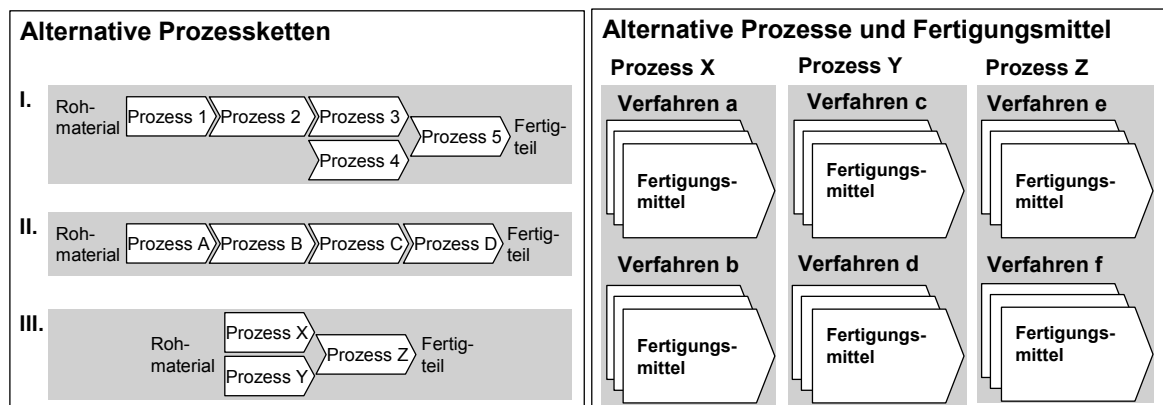


Abbildung 29: Konfiguration alternativer Fertigungssysteme: Variation von Prozessketten und Prozessen¹⁵⁹

Ausgangspunkt für die Konfiguration von zu analysierenden Referenzobjekten des Benchmarkings ist entweder eine bestimmte Fertigungsaufgabe (Anwender-

¹⁵⁹ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Sichtweise) oder eine bestimmte Werkzeugmaschine (Hersteller-Sichtweise). Anlass für das Benchmarking durch einen Maschinenhersteller kann die Planung einer Neumaschinen-Entwicklung zur Erschließung neuer Marktsegmente sein oder die Überarbeitung einer bestehenden Maschine mit dem Ziel der Erhöhung der Kundenattraktivität und der Wettbewerbsfähigkeit.





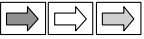

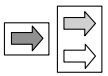








Variationsdimension	Prinzipdarstellung	Beispiel
<div style="text-align: right;">  Prozess  Maschine  Material </div>		
Prozessfolge		
- Sequenz der Prozesse		 -Zerspanung vor/nach dem Härten
- Parallelisierung/Integration von Prozessen		 -frühes/spätes Fügen zweier Bauteile
Prozessintegration		
- Mehrere Prozesse je Maschine		 -Kombinationswerkzeug
- Parallele Bearbeitung mehrerer Werkstücke je Maschine		 -Mehrspindlermaschine
Materialfluss		
- Verkettungsgrad zwischen Prozessen		 -Entkopplung über Stapelzellen
- Automatisierte Werkstückentnahme		 -automatisierte Entnahme von Rohteilen

Abbildung 30: Variationsdimensionen in der Prozesskette¹⁶⁰

Die Beurteilung einer Werkzeugmaschine kann jedoch immer nur vor dem Hintergrund von vordefinierten und für die betrachtete Werkzeugmaschine typischen Fertigungsaufgaben durchgeführt werden. In der Regel erfordern die Fertigungsaufgaben jedoch Kombinationen mehrerer Werkzeugmaschinen, sowie Anlagen, Werkzeuge und Vorrichtungen – mithin Fertigungssysteme. Für die Konfiguration alternativer Fertigungssysteme müssen für ausgewählte Werkstücke Informationen über das Rohmaterial und die Zeichnung des Fertigteils vorliegen. Die ausgewählten Werkstücke sollten in hohem Maß für das Zielmarktsegment repräsentativ sein hinsichtlich des Werkstoffes, der Komplexität der Geometrie und der Genauigkeitsanforderungen. Auf der Basis dieser Werkstücke werden anschließend alternative Prozessketten abgeleitet (vgl. Abbildung 29). Zu den Prozessen zählen an dieser Stelle sowohl Fertigungs-, als auch Materialflussprozesse. Folgende Dimen-

¹⁶⁰ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

sionen sollten bei der Bildung alternativer **Prozessketten** berücksichtigt werden:¹⁶¹

- Prozessfolge,
- Prozessintegration und
- Materialfluss (vgl. Abbildung 30).

Selbstverständlich müssen die gebildeten Prozessketten nicht sämtliche denkbaren Alternativen enthalten – die am Markt vorhandenen und aktuell in der Praxis diskutierten Prozessketten sollten jedoch abgedeckt werden.









Variationsdimension	Beispiel / Darstellung	
Fertigungsverfahren	Zerspanung trocken	
- Fertigungstechnologie		 Zerspanung nass
- Automatisierungsgrad	Gussputzen, manuell	
		 Gussputzen, Industrieroboter
Fertigungsmittel		
- Hersteller von Maschinen/Werkzeugen	Yamazaki	 Gildemeister
- Typen/Baureihen der gleichen Hersteller	Gildemeister GMX 200	 Gildemeister GMX 250
Werkstück/Werkzeug-Handhabung		
- Werkstück-Wechsel	manuelle Werkstück-zuführung	 Werkstück-zuführung über Industrieroboter
- Werkzeug-Wechsel	manueller Werkzeug-wechsel	 automatischer Werkzeug-revolver

Abbildung 31: Variationsdimensionen in den Prozessen¹⁶²

Im nächsten Schritt werden austauschbare Alternativen hinsichtlich der Ausführung der **Prozesse** gebildet. Im Einzelnen sollten folgende Variationsdimensionen berücksichtigt werden:

- Fertigungsverfahren,
- Fertigungsmittel und
- Werkstück/Werkzeug-Handhabung (vgl. Abbildung 31).

¹⁶¹ Vgl. zur allgemeinen Variation von Teilaufgabenstrukturen, die analog für alle technischen Produkte angewendet werden kann: Birkhofer, 1980, S. 121-123.

¹⁶² Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Erfolgskritisch für das Benchmarking wird es sein, die Marktführer, die starken Wettbewerber (hohe Marktanteile, hoher Innovationsgrad) und die neu entstehenden Wettbewerber (z.B. aus Niedriglohnländern) bei den alternativen Fertigungsmitteln zu berücksichtigen (vgl. zu den allgemeinen Kriterien für die Auswahl von Referenzobjekten Unterkapitel 3.1). Die Prozessketten-Sicht erlaubt es, auch nicht direkt vergleichbare Werkzeugmaschinen in die Betrachtung aufzunehmen. Weist etwa die Maschine eines Wettbewerbers Defizite in Bezug auf die Automatisierung der Werkstückzuführung oder die Oberflächenqualität auf, kann dies durch Eingliederung in eine Alternativ-Prozesskette ausgeglichen werden, die zusätzliche Industrieroboter zur Werkstückzuführung oder einen zusätzlichen Schleifprozess zur Erhöhung der Oberflächenqualität enthält.

5.1.2 Festlegung der Referenzparameter

Die Bestimmung geeigneter und die kritischen Produkteigenschaften möglichst vollständig beschreibender Referenzparameter ist entscheidend für die Qualität und den Umfang des ableitbaren Optimierungspotenzials. Es ist darauf zu achten, die Parameter objektiv nachvollziehbar zu gestalten – so weit möglich, sind vergleichbare physikalische und finanzielle Maßgrößen qualitativen, subjektiven Bewertungen vorzuziehen. Deswegen wird vorgeschlagen, als integrierenden Referenzparameter die Größe der Fertigungskosten je (Gutteil-) Werkstück (über die technische Lebensdauer des Fertigungssystems) zu wählen.¹⁶³

Die Übersicht über die Charakteristika und Zielgrößen von Fertigungssystemen (Abbildung 32) zeigt auf, dass die Konstrukteure einer Werkzeugmaschine den Fertigungsprozess in seiner Gesamtheit zu berücksichtigen haben.¹⁶⁴ Neben den direkten Einflussgrößen, wie der Rüstzeit, der Ausführungszeit und dem Maschinen-Investitionsbetrag, sind darüber hinaus die Personalkosten zu minimieren und die technische Lebensdauer der Maschine zu maximieren. Zudem ist zu beachten, dass eine Reduzierung der Betriebsmittel-Ausführungszeit in ihrer Auswirkung einer Verminderung des Maschinenpreises äquivalent sein kann. Für den Maschinenanwender wird also der Maschinenpreis allein noch kein ausschlaggebendes Auswahlkriterium sein – er eignet sich somit nicht als isolierter Referenzparameter.

¹⁶³ Vgl. Unterkapitel 2.2.

¹⁶⁴ Vgl. dazu auch VDI, 2003.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

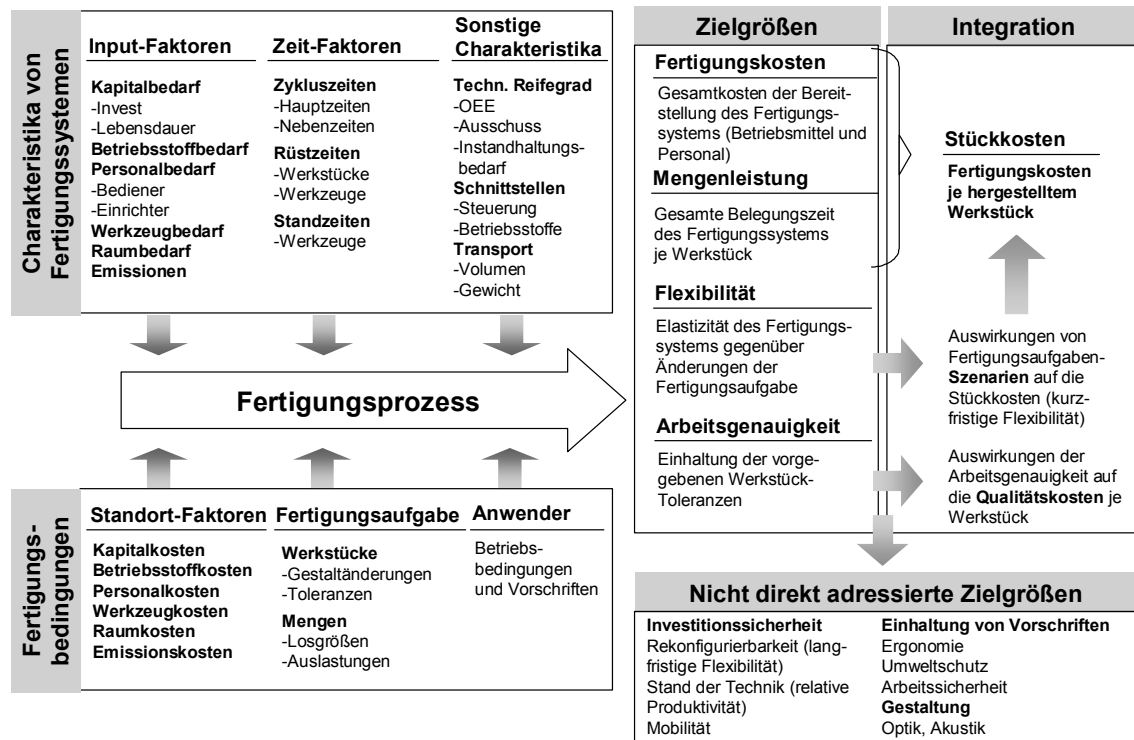


Abbildung 32: Charakteristika von Fertigungssystemen, Fertigungsbedingungen und Zielgrößen von Fertigungsprozessen¹⁶⁵

Beispiele für die Relativierung und mögliche Kompensation der Investitionskosten über technische Eigenschaften sind (vgl. zum Life-Cycle-Costing Abschnitt 3.3.3):

- **Technische Verfügbarkeit:** Die verfügbare Belegungszeit des Fertigungssystem, die theoretisch bei einem täglichen Betrieb über drei Schichten im Jahr 8.760 Stunden beträgt, hängt tatsächlich stark von der Häufigkeit von Maschinenausfällen ("mean operating time between failures"), der Reparaturdauer ("mean time to repair") und der Dauer von Wartungsarbeiten ab.¹⁶⁶ Diese Größen werden wiederum beeinflusst von der Qualität der Werkzeugmaschinen-Konstruktion (geringe Fehleranfälligkeit, gute Zugänglichkeit), der zeitnahen Verfügbarkeit qualifizierter Service-Mitarbeiter am Produktionsstandort des Maschinenanwenders und der Versorgung mit Ersatzteilen.¹⁶⁷
- **Werkzeug-Verbrauch:** Die laufenden Betriebskosten hängen meist maßgeblich von den Werkzeugkosten ab. Die Werkzeug-Standzeiten werden direkt von dem Maschinenaufbau beeinflusst – so bewirkt eine Maschine mit hoher Steifigkeit und Dämpfung (und damit evt. höherem Investitionsaufwand) geringe Mikroschwingungen und setzt die Belastung des Werkzeugs herab.

¹⁶⁵ Eigene Darstellung.

¹⁶⁶ Vgl. Birolini, 1997, S. 4-7.

¹⁶⁷ Vgl. zur Definition der Gesamtanlageneffektivität: Osten-Sacken, 1999, S. 51.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

- **Technische Lebensdauer:** Eine Erhöhung der technischen Lebensdauer des Betriebsmittels verringert direkt proportional die effektive Wirkung des Maschinen-Invests auf die Maschinenkosten pro Belegungszeit. Das "Retrofitting", also die Überholung gebrauchter Maschinen, kann eine Maßnahme sein, um die tatsächliche Nutzungsdauer bzw. den Restwert der Maschinen zu erhöhen.¹⁶⁸

Neben den Fertigungskosten und der Mengenleistung sind die Flexibilität und die Arbeitsgenauigkeit als weitere Zielgrößen zu beachten (vgl. Unterkapitel 2.2):

Flexibilität: Die Flexibilität des Fertigungssystems hinsichtlich Änderungen der Fertigungsaufgabe ist differenziert zu betrachten. Die kurzfristige Flexibilität, die durch Umrüstungen und NC-Programmierung erreicht werden kann, lässt sich über Szenarien bei den Fertigungsbedingungen in die Stückkosten integrieren. Die langfristige Flexibilität hingegen, die Umbauten an der Werkzeugmaschine erfordert, lässt sich nicht direkt in die Stückkosten integrieren und kann somit innerhalb der hier vorgestellten Methode nicht berücksichtigt werden.

Arbeitsgenauigkeit: Die Arbeitsgenauigkeit hat zum einen Auswirkungen auf die Auswahl der Werkstücke, die auf dem Fertigungssystem hergestellt werden können und beeinflusst zum anderen die Qualitätskosten. Zu den Qualitätskosten zählen die Fehlerverhütungskosten, die Prüfkosten und die internen und externen Fehlerkosten. Diese Kostenarten lassen sich für jedes der betrachteten Fertigungssysteme feststellen und auf die Werkstücke beziehen. Es ist davon auszugehen, dass die alternativen Systeme sich vorwiegend im Hinblick auf die internen Fehlerkosten unterscheiden und Unterschiede bei den anderen Kostenarten im Rahmen des Benchmarkings in den meisten Fällen vernachlässigbar sind. Zu den internen Fehlerkosten gehören insbesondere Ausschuss- und Nacharbeitskosten.¹⁶⁹

Der Fertigungsprozess wird nicht nur über die Charakteristika des Fertigungssystems bestimmt – einen ebenso großen Einfluss haben die **Fertigungsbedingungen**. Dazu werden hier der Fertigungsstandort, die Fertigungsaufgabe und der fertigende Betrieb gezählt. Vom Fertigungsstandort hängt die Verfügbarkeit und Bewertung der Einsatzfaktoren, wie Personal, Betriebsstoffe, Kapital und Raum, ab. Die Fertigungsaufgabe beinhaltet nicht nur die erwünschten Gestaltänderungen und die einzuhaltenden Toleranzen am Werkstück, sondern auch die Mengendynamik, also die Losgrößen und die zu erwartende Fertigungssystemauslastung. Vom fertigenden Betrieb hängt es ab, in welchem Umfang betriebsspezifische Bedingungen und Vorschriften einzuhalten sind. Dazu gehören Vorgaben hinsichtlich Schnittstellen (CNC-Steuerung, Strom, Druckluft, Werkstückfluss, etc.), äü-

¹⁶⁸ Vgl. Fili, 2004, S. 44.

¹⁶⁹ Vgl. Wiendahl, 2005, S. 398 und Reinhart/Lindemann/Heinzel, 1996, S. 262-268.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Berer Gestaltung der Maschinen (Sicherheitseinrichtungen, Farben, Betriebszustandsanzeigen), sowie Ergonomie und Umweltschutz. Betriebsspezifische Vorgaben generieren in der Regel einen Mehraufwand in allen Phasen der Erstellung des Fertigungssystems von der Auftragskonstruktion über die Herstellung bis hin zur Installation und Inbetriebnahme.

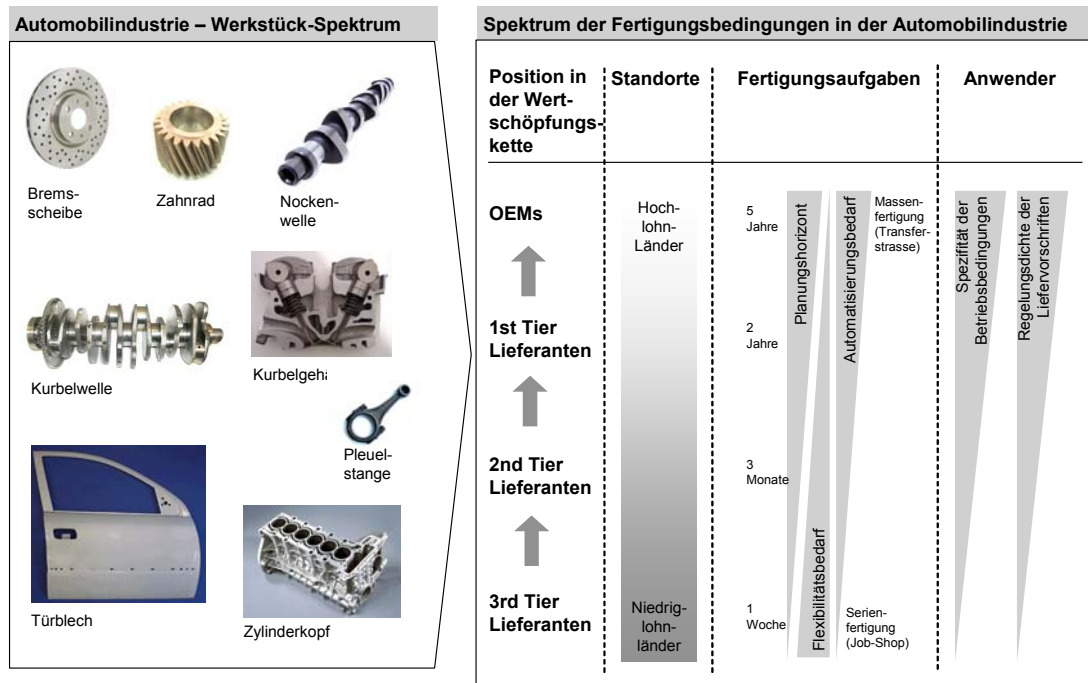


Abbildung 33: Spektrum der Werkstücke und Fertigungsbedingungen am Beispiel der Automobilindustrie¹⁷⁰

Die Fertigungsbedingungen weisen eine hohe Diversität auf. Selbst innerhalb einer Anwenderbranche (beispielsweise der Automobilindustrie, vgl. Abbildung 33), trifft man eine hohe Vielfalt an Werkstücken und anwenderspezifischen Bedingungen an. In der Automobilindustrie hat die Position des Unternehmens in der Wertschöpfungskette einen entscheidenden Einfluss auf den Flexibilitätsbedarf und den Automatisierungsbedarf. Da die Automobilhersteller selbst mit längeren Planungszeiträumen (ca. 5 Jahre) Mengengerüste für ihre Baureihen festlegen können, sind kapitalintensive und hochgradig auf bestimmte Werkstücke spezialisierte Anlagen hier wirtschaftlich einzusetzen. Bei Lieferanten zweiten oder dritten Grades ("2nd Tier", "3rd Tier") stellt sich die Lage umgekehrt dar. Diese Lieferanten erhalten häufig nur kurzfristige Aufträge mit wesentlich kleineren Losgrößen. Für sie ist es überlebenswichtig, über eine hohe technologische und

¹⁷⁰ Eigene Darstellung, Gespräch mit Dr. Walz, Geschäftsführer EMAG Maschinenfabrik GmbH am 20. Oktober 2005.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Mengen-Flexibilität (vgl. Abschnitt 2.2) zu verfügen, um ihre Fertigungssysteme kurzfristig auf neue Aufträge umrüsten zu können.

Der beschriebenen Diversität der Fertigungsbedingungen kann innerhalb des Benchmarkings über die Definition einer begrenzten Zahl von **Anwendungsszenarien** Rechnung getragen werden. Es sollte eine überschaubare Anzahl von Anwendungsszenarien (z.B. drei bis zehn) gebildet werden, die alle mit den definierten Prozessen und Prozessketten vereinbar sind. Zudem sollten die Fertigungsbedingungen innerhalb der Szenarien repräsentativ für wichtige Maschinenanwender und in sich konsistent sein (z.B. typische Kombinationen von Werkstücken, Fertigungsstandorten und Losgrößen). Um eine Gesamtbeurteilung von Fertigungssystemen zu ermöglichen, sollten die Szenarien prozentual in ihrer Bedeutung gewichtet werden. Diese Gewichtung kann aus dem Marktpotential, das sich mit den Szenarien für den Maschinenhersteller jeweils verbindet, abgeleitet werden.

5.2 Vergleichsphase

5.2.1 Definition der Bewertungsmethode

Die Bewertung alternativer Fertigungssysteme im Hinblick auf ihre Stückkosten erfordert ein detailliertes **Kostenmodell**, das die Fertigungsbedingungen und die Life-Cycle-Kosten ebenso berücksichtigt, wie die Bandbreite der Fertigungssystem-Charakteristika selbst. Entsprechende Kostenmodelle liegen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad und mit unterschiedlichen Schwerpunkten vor.¹⁷¹ Aufgrund des breiten Spektrums technischer Fertigungslösungen und möglicher Fertigungsbedingungen lässt sich ein detailliertes Kostenmodell nur begrenzt allgemeingültig definieren. Eine Grundstruktur stellt jedoch der in Abbildung 34 dargestellte Kostentreiber-Baum dar. Er verknüpft systematisch die Charakteristika der Fertigungssysteme mit den spezifischen Fertigungsbedingungen über die bekannten Wirkungszusammenhänge.

Das Kostenmodell muss alle für die Lebensdauer aus Anwendersicht relevanten Kosten enthalten – dazu gehören auch die Kosten für die Verwertung der Altmaschine, die maschinenspezifischen Schulungskosten und Instandhaltungskosten. Irrelevant sind für die Zwecke des Benchmarkings alle Kostentreiber, die über die alternativen Fertigungssysteme identisch sind. Dies könnten beispielsweise bestimmte Betriebsstoffe sein oder Gemeinkosten, die durch die Betriebsleitung, durch Stromaggregate oder allgemeine Einrichtungen wie den Werksschutz oder die Werksfeuerwehr verursacht werden. Somit weicht das hier verwendete Kos-

¹⁷¹ Vgl. beispielsweise Eversheim, 1989, S. 306-313; Hirsch, 2000, S. 39-43; Milberg, 1995, S. 31 f.; Osten-Sacken, 1999.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

tenmodell in mehrfacher Hinsicht sowohl vom internen Rechnungswesen (Analysen des Controllings wie z.B. Deckungsbeitragsrechnungen), als auch vom externen Rechnungswesen (Jahresabschluss z.B. nach HGB oder US-GAAP) ab.¹⁷²

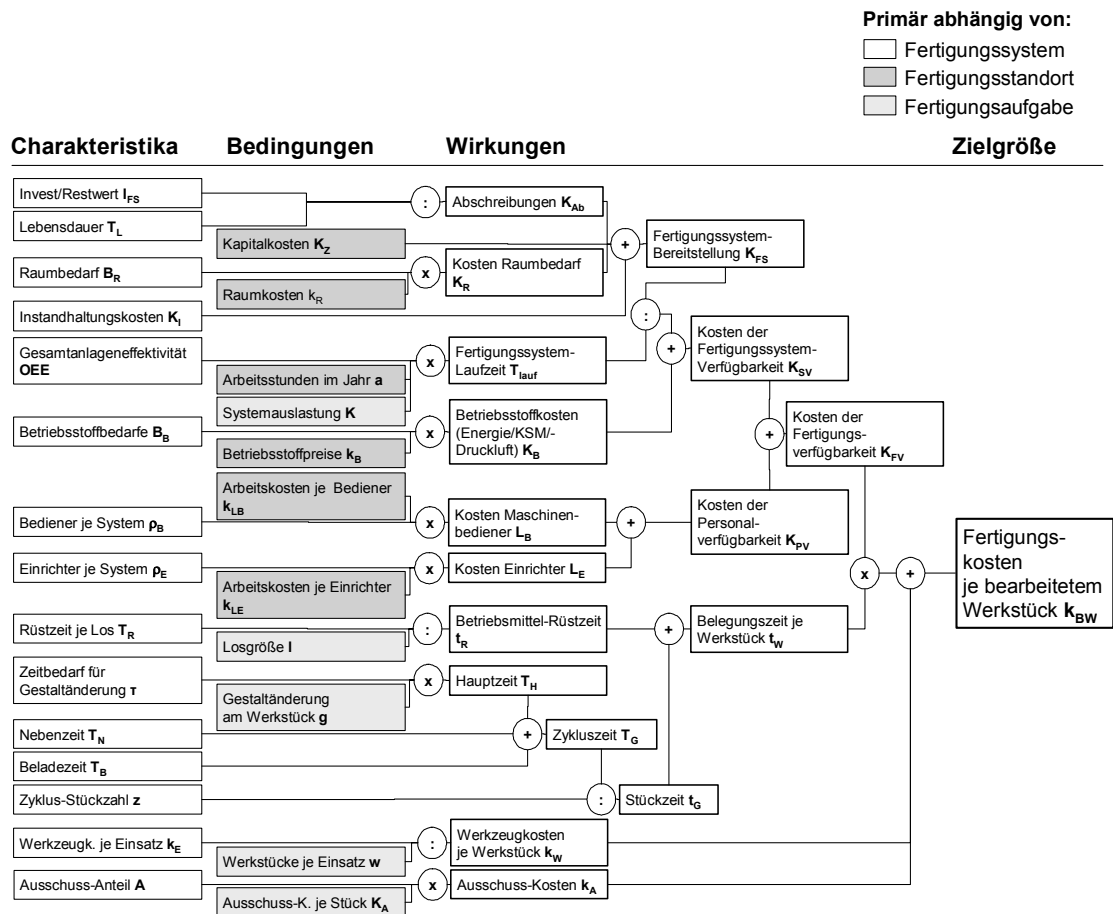


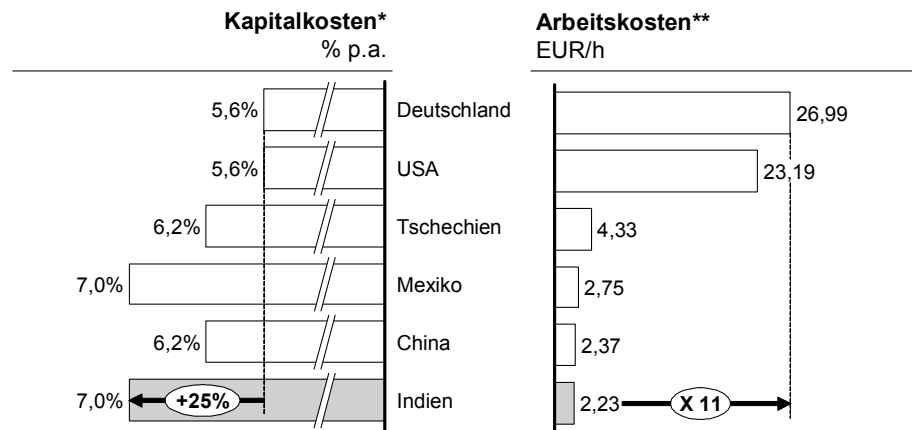
Abbildung 34: Bewertungsmethode für Fertigungssysteme: Parametrisches Kostenmodell¹⁷³

Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Globalisierung der Produktion (vgl. Unterkapitel 2.5) ist die Berücksichtigung unterschiedlicher **Standortbedingungen** besonders relevant. Es ist davon auszugehen, dass die Bewertung eines Fertigungssystems in der Regel abhängig vom gewählten Fertigungsstandort ist. Dabei spielen insbesondere die Kapital- und Arbeitskosten (vgl. Abbildung 35) und (in der Regel in geringerem Umfang) auch die Betriebsstoff- und Raumkosten eine Rolle. Dies macht es für das Benchmarking erforderlich, zumindest für repräsentative Standorte die standortspezifischen Bewertungen von Eingangsgrößen (synonym: Faktorkosten) in den Fertigungsprozess zu berücksichtigen.

¹⁷² Vgl. Thommen/Achleitner, 1999, S. 407-572.

¹⁷³ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen



* Abgeschätzt über die durchschnittlichen Zinssätze von 10-jährigen Staatsanleihen (Ratingagentur Moodys).
 ** Durchschnittskosten für unqualifizierte Werker (Global Insight Datenbank).

Abbildung 35: Kapital- und Arbeitskosten ausgewählter Fertigungsstandorte¹⁷⁴

Kapitalkosten: Die Kapitalkosten werden zum einen beeinflusst durch die Verfügbarkeit von Kapital und zum anderen ist das Ausfallrisiko für die Kapitalinvestition kalkulatorisch zu berücksichtigen. So ist davon auszugehen, dass in Schwellenländern wie China und Indien die Kapitalkosten aufgrund erhöhter politischer, ökonomischer und rechtlicher Risiken höher sind als in Westeuropa, Japan oder den USA. Beide Effekte lassen sich approximativ über den Spread¹⁷⁵ (Differenz zwischen risikofreiem Marktzins und risikoadjustiertem Zins) von Staatsanleihen (mit einer Laufzeit in Höhe der technischen Lebensdauer der Maschinen) in den einzelnen Produktionsländern abbilden. Standortabhängige Kapitalproduktivitäten können über unterschiedliche technische Verfügbarkeiten und Rüstzeiten abgebildet werden.

Arbeitskosten: Die aus einschlägigen Datenbanken ablesbaren Arbeitskosten stellen häufig nur Mittelwerte dar und beziehen sich auf ein durchschnittliches Qualifikationsniveau. Bestimmte Fertigungssysteme können wesentlich höhere oder geringere Qualifikationsniveaus verlangen – dies muss in den zugerechneten Arbeitskosten zum Ausdruck kommen. So ist beispielsweise damit zu rechnen, dass ein Maschineneinrichter mit detaillierten Fachkenntnissen der CNC-Programmierung gerade in Niedriglohnländern aufgrund der Knappheit derartig qualifizierter Kräfte ein Vielfaches der Kosten im Vergleich zum Durchschnittsniveau verursacht. Standortspezifische Unterschiede in den Arbeitsproduktivitäten können im Kostenmodell über eine Skalierung des Personalbedarfs je Fertigungssystem abgebildet werden.

¹⁷⁴ Eigene Darstellung.

¹⁷⁵ Vgl. zum „Credit Spread“ z.B. Betsch/Groh/Lohmann, 2000, S. 30.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Als Voraussetzung für die folgenden Analysen, insbesondere hinsichtlich der Priorisierung von Optimierungsmaßnahmen, wird der Begriff der **Sensitivität** eines Fertigungssystem-Charakteristikums in Bezug auf die Zielgröße des Fertigungssystems (hier: die Stückkosten) eingeführt:

$$s_i = \frac{\frac{\partial Z}{\partial C_i} * \frac{C_i}{Z}}{\left| K_j \right|} \quad -1 \leq s_i \leq 1^*$$

Abbildung 36: Sensitivität eines Fertigungssystem-Charakteristikums¹⁷⁶

Die Sensitivität s_i eines Charakteristikums gibt an, welche Auswirkung eine Änderung in der Ausprägung des Charakteristikums C_i auf die Zielgröße Z bei gegebenen Fertigungsbedingungen K_j hat. Mathematisch stellt sie die partielle Ableitung der Zielgröße nach dem Charakteristikum multipliziert mit dem Quotienten aus Charakteristikum und Zielgröße dar. Die Sensitivitäten nehmen für alle K_j und alle C_i Werte zwischen -1 und 1 an, wenn die Stückkosten die Zielgröße sind. Diese Eigenschaft beruht auf der Tatsache, dass jede Modifikation eines Charakteristikums unterproportional auf die Stückkosten wirkt und lässt sich mathematisch leicht anhand des oben (vgl. Abbildung 34 auf S. 78) dargestellten Kostentreiberbaums nachweisen.

5.2.2 Ermittlung der Leistungslücken

Die Ausprägungen der Fertigungssystem-Charakteristika sind vollständig und objektiv nachprüfbar zu erheben. Mögliche Informationsquellen sind in Tabelle 7 aufgeführt. Die Relevanz der Charakteristika, die sich zunächst aus Erfahrungswerten näherungsweise einordnen (und anschließend anhand der Sensitivität berechnen) lässt, bestimmt, mit welcher Genauigkeit die Daten zu erfassen sind.

Hindernisse für die Erfassung können resultieren aus:

- der Geheimhaltung von Daten (z.B. Verkaufspreise von Wettbewerbermaschinen),
- Ungewissheiten bei der technischen Leistungsfähigkeit (z.B. Arbeitsgenauigkeit oder technische Lebensdauer) und
- der werkstückbezogenen Auslegung von Fertigungssystemen (z.B. Zykluszeiten und Rüstzeiten).

¹⁷⁶ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Charakteristika	Mögliche Informationsquellen
Maschinen-Invest und Planungskosten	Angebotsanfragen, Befragung von Vertriebsmitarbeitern, Historie gewonnener und verllorener Aufträge, Nachkalkulation, Lieferantenanfragen, Maschinenzerlegung
Kapitalkosten	Analyse marktüblicher Zinssätze, standortabhängige Risikoaufschläge
Nutzungsdauer	Kataloge, Vertragsbedingungen, Kundenbefragungen, Testläufe, technische Abschätzung
Technische Verfügbarkeit	Kundenbefragungen, Testläufe, Dokumentation bestehender Anlagen
Restwert/Entsorgungskosten	Preise am Gebrauchtmaschinenmarkt, Konditionen für Retrofitting
Werkzeugkosten	Berechnungen, Experteninterviews, Angebotsanfragen bei Werkzeugherstellern
Flächen-, Betriebsstoff- und Personalkosten	Datenbanken, Experteninterviews, wissenschaftliche Studien ¹⁷⁷
Instandhaltungskosten	Vertragsbedingungen, Berechnungen, Kundenbefragungen, Testläufe
Rüstzeiten, Zykluszeiten	Zeitberechnungen, Kataloge, Angebotsanfragen, Testläufe, vertragliche Garantien

Tabelle 7: Informationsquellen für das Benchmarking von Fertigungssystemen¹⁷⁸

Die von diesen Hindernissen betroffenen Charakteristika sind jedoch in der Regel gerade diejenigen mit der höchsten Sensitivität und den höchsten Abweichungen zwischen den Referenzobjekten. Somit sind für die Informationsrecherche in höherem Umfang personelle und monetäre Ressourcen einzuplanen. Vier unterschiedliche Ansätze sind denkbar:

- **Expertenbefragung:** Die am wenigsten aufwendige Option stellt die Befragung von Fertigungsexperten dar, die bereits mit einem ganzen Spektrum unterschiedlich konfigurierter Fertigungssysteme Anwendungserfahrungen gesammelt haben. Dies wird vor allem bei Mitarbeitern der Fall sein, die eine langjährige Erfahrung in einer der Kundenbranchen aufweisen. Hierbei ist je-

¹⁷⁷ Vgl. beispielsweise zu den Druckluftkosten die Initiative "Druckluft effizient" des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (Radgen, 2003).

¹⁷⁸ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

doch unbedingt darauf zu achten, dass die Informationen eine hohe Aktualität hinsichtlich technischer Innovationen und neu hinzugetretener Wettbewerber aufweisen und sowohl die technischen, als auch die monetären Charakteristika bekannt sind.

- **Kooperation mit Maschinenanwendern:** Insbesondere Kunden mit einem hohen regelmäßigen Beschaffungsvolumen an neuen Werkzeugmaschinen, z. B. aus der Automobil- oder der Luftfahrtindustrie, haben ein Interesse daran, als Teil ihres Beschaffungsprozesses die wirtschaftlich insgesamt optimale Lösung auszuwählen. Selbstverständlich werden die Kunden in der Beschaffung und Analyse der Informationen nicht die Rolle einer neutralen Instanz spielen, sondern die Informationen nutzen, um die eigene Verhandlungsposition zu verbessern. Immerhin können die Maschinenhersteller von ihnen eine detaillierte Rückmeldung zu Stärken und Schwächen ihrer Fertigungslösungen erwarten.
- **Kooperation mit Wettbewerbern:** Diese Zusammenarbeit wird kaum im direkten Austausch möglich sein. Denkbar ist die Zwischenschaltung einer neutralen Instanz, beispielsweise eines Industrieverbandes oder eines unabhängigen Beraters. Die Wettbewerber geben ihre internen Informationen dann direkt an die neutrale Instanz, diese wertet die Informationen aus und erstellt für jeden Wettbewerber individuell eine Ergebnispräsentation unter Anonymisierung der übrigen Wettbewerber.
- **Erwerb und Test aller alternativen Fertigungssysteme:** Dies ist der mit Abstand aufwendigste Ansatz, der jedoch zugleich die höchste Präzision der Ergebnisse sicherstellt. Der monetäre und der personelle Aufwand ist aufgrund der Beschaffungs- bzw. Mietkosten, der notwendigen Aufstellfläche und des Einricht- und Testaufwandes immens. Diese Möglichkeit wird nur dann in Frage kommen, wenn die damit verbundenen Kosten im Vergleich zu den regulären Entwicklungskosten oder dem langfristig am Markt erzielbaren Gewinn klein sind. Dies kann zum Beispiel zutreffen bei kleineren Universalmaschinen. Möglicherweise lassen sich auch Synergieeffekte erzielen, wenn beim Maschinenhersteller bereits eine hauseigene Lohnfertigung vorhanden ist und die Test-Maschinen während und nach der Testphase weitgehend reibungslos in den Lohnfertigungs-Betrieb eingebunden werden können.

Nachdem alle Informationen über Fertigungsbedingungen und Fertigungssystem-Charakteristika vorliegen, kann der eigentliche Leistungsvergleich durchgeführt werden. Zweckmäßigerweise wird das Benchmarking durch ein geeignetes IT-Tool, beispielsweise eine Tabellenkalkulation oder eine Datenbank-Software unterstützt. Damit lassen sich Parameter-Variationen und ergänzende Berechnungsschritte zeitnah implementieren und Auswirkungen von Modifikationen kurzfristig feststellen. Zudem kann bei späteren Neuauflagen des Benchmarkings auf ein

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

einmal aufgesetztes Tool zurückgegriffen werden (vgl. zum langfristigen Charakter des Benchmarkings Unterkapitel 3.1).

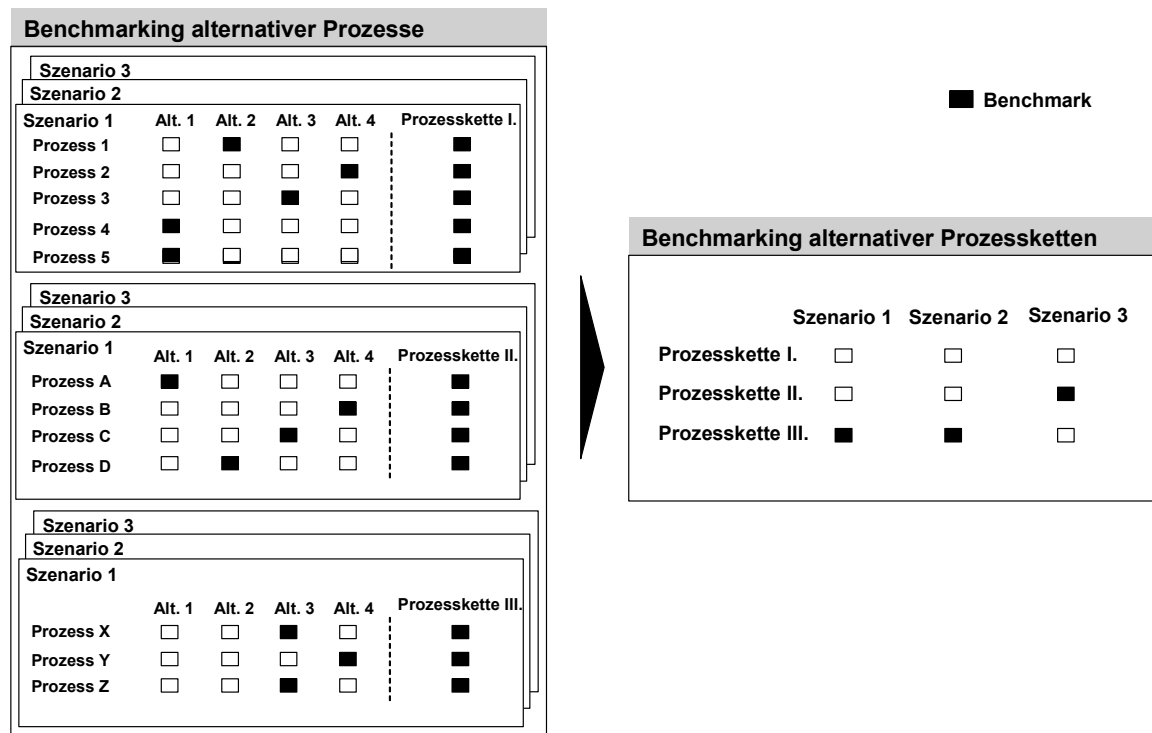


Abbildung 37: Zweistufiger Leistungsvergleich von Fertigungssystemen¹⁷⁹

Der Leistungsvergleich sollte in zwei Stufen durchgeführt werden. Im ersten Schritt sollten die alternativen Prozesse (Fertigungsprozesse und Materialflussprozesse) für jedes der vordefinierten Szenarien isoliert einem Benchmarking unterzogen werden. Im Ergebnis erhält man eine Zusammenstellung der optimalen Prozesse für jede einzelne Prozesskette. Da mit der Konfiguration der alternativen Prozesse innerhalb der Prozessketten eine vollständige Austauschbarkeit vorausgesetzt wurde, können die Prozessketten auf diese Weise in sich optimiert werden. Erst im zweiten Schritt werden die in sich optimalen Prozessketten direkt gegeneinander verglichen. Auch hier ist zu erwarten, dass die Bewertung der Prozessketten abhängig vom zugrunde gelegten Szenario unterschiedlich ausfällt. Ein gesamthaftes Ranking der Prozessketten kann anschließend über die zuvor definierten Szenario-Gewichtungen abgeleitet werden.

5.3 Umsetzungsphase

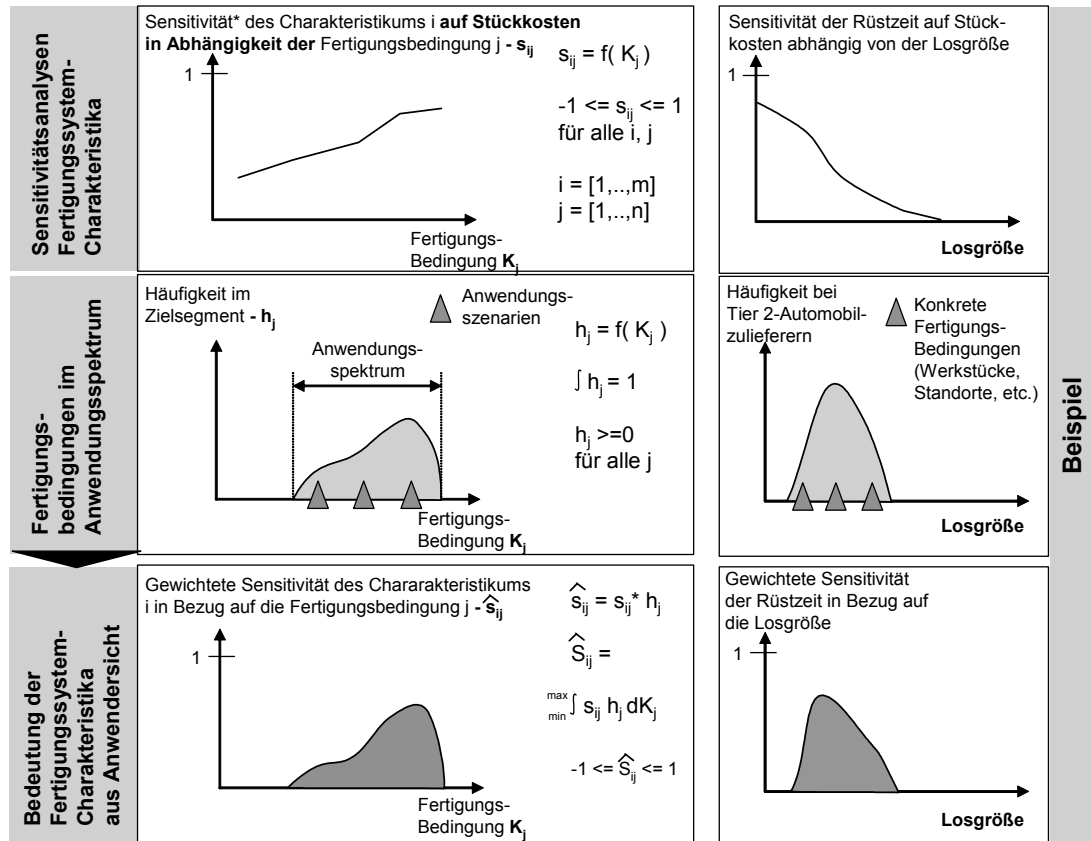
5.3.1 Analyse der Leistungslücken

Die Kenntnis des optimalen Fertigungssystems allein ist zwar bereits eine entscheidende Information, hat aber für die Ableitung konkreter Optimierungs-

¹⁷⁹ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

maßnahmen der betrachteten Werkzeugmaschine nur eine begrenzte Aussagekraft. So ist noch weitgehend unklar, welche Charakteristika ausschlaggebend waren und welche Einflüsse zwischen den Anwendungsszenarien und den alternativen Fertigungssystemen zum Tragen gekommen sind. Diese Einflüsse lassen sich über die Kombination der Sensitivitäten und der Häufigkeitsverteilungen von Fertigungsbedingungen im avisierten Marktsegment ermitteln.



* Ausgehend von einem mittleren Anwendungsszenario unter Beibehaltung aller übrigen K_1 bis K_n .

Abbildung 38: Bezug der Sensitivitätsanalysen auf das gesamte Anwendungsspektrum¹⁸⁰

Dazu ist es notwendig, die bereits definierte Sensitivität (siehe S. 80) über jede einzelne Fertigungsbedingung innerhalb bestimmter Grenzen als Funktion der Ausprägung der Fertigungsbedingung zu bestimmen. Ein Beispiel ist die Rüstzeit-Sensitivität, die abhängig von der Losgröße (Fertigungsbedingung) unterschiedlich hohe Werte annimmt (steil abfallende Funktion). Weitere typische Zusammenhänge wären die Sensitivität des Personalbedarfs abhängig vom Lohnniveau am Fertigungsstandort (steil ansteigende Funktion) und die Sensitivität des Anlageninvests abhängig von der zu erwartenden Systemauslastung (moderat abfallende Funktion).

¹⁸⁰ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Die Häufigkeitsverteilung der Fertigungsbedingungen stellt das Marktpotenzial der Fertigungssysteme über dem gesamten möglichen Anwendungsspektrum dar. Die Anwendungsszenarien sind in dieser Betrachtungsweise möglicherweise bestimmte markante Punkte innerhalb des Anwendungsspektrums (z.B. Randpunkte, Maxima oder Mittelwerte). Die Überlagerung der Sensitivitäten und der Häufigkeiten lässt sich mathematisch über eine Integration darstellen (vgl. Abbildung 38). Die sich ergebende Sensitivitätskennziffer \hat{S}_{ij} (mit dem Index i für das Charakteristikum und Index j für die Fertigungsbedingung) ist eine rationale Zahl im Bereich zwischen -1 und 1.

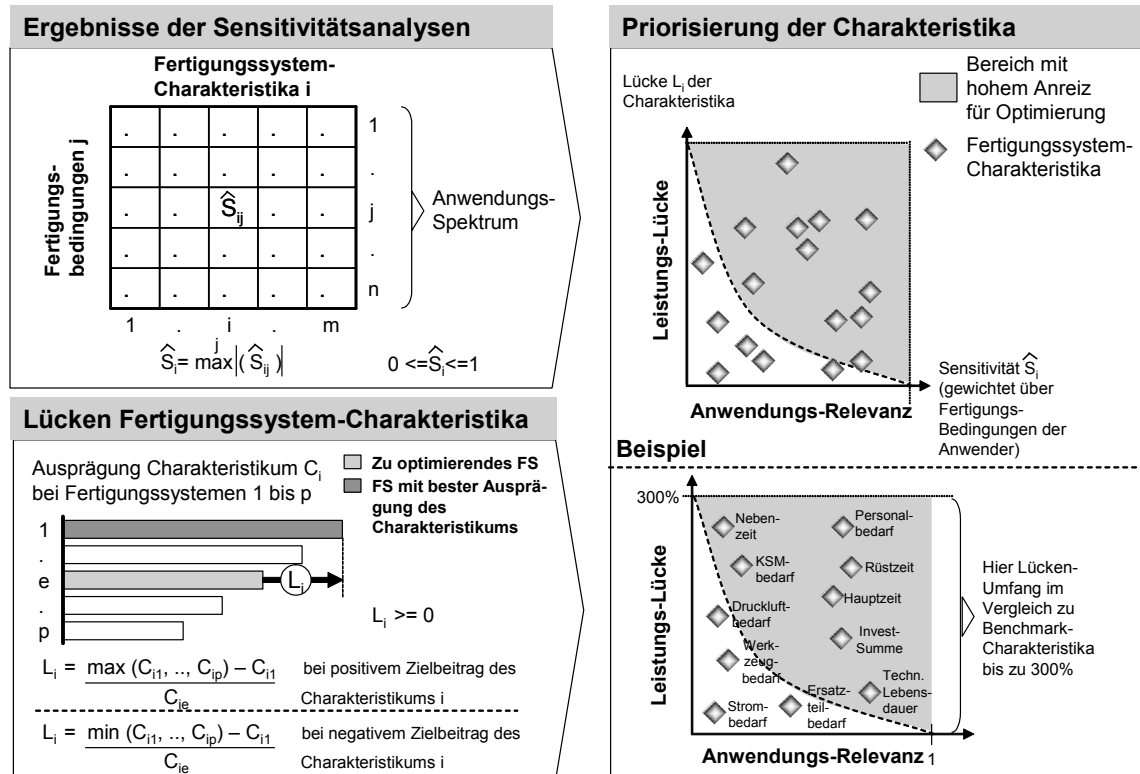


Abbildung 39: Priorisierung von Fertigungssystem-Charakteristika anhand der Leistungslücke und der Anwendungsrelevanz¹⁸¹

Die **Priorisierung** der Charakteristika hängt zum einen davon ab, in welchem Ausmaß das Charakteristikum für die Zielgröße eine Relevanz hat (Sensitivität) und zum anderen davon, in welchem Umfang ein Optimierungspotenzial vorliegt (vgl. Abbildung 39). Da die Kennziffer \hat{S}_{ij} noch die Form einer Matrix hat, ist eine Verdichtung zu einem Vektor allein über den Index i notwendig. Dies kann geschehen über die Auswahl des jeweiligen Maximalbetrages über alle Fertigungsbedingungen j . Damit wird der auf das Charakteristikum jeweils "empfindlichsten" Bedingung besonders Rechnung getragen. An dieser Stelle kann bereits

¹⁸¹ Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

auf das Vorzeichen für die neu gebildete Kennziffer \hat{S}_i verzichtet werden (Absolutbetrag). Der Umfang des Optimierungspotenzials kann direkt an den Leistungslücken L_i bei den einzelnen Charakteristika abgelesen werden. Diese werden definiert als der prozentuelle Unterschied zwischen Ausprägung beim gerade betrachteten Fertigungssystem und der besten (abhängig vom Zielbeitrag der minimalen oder maximalen) Ausprägung über alle betrachteten Fertigungssysteme bezogen auf die Ausprägung des betrachteten Fertigungssystems.

In einem zweidimensionalen Koordinatensystem lassen sich die Kennziffern der Anwendungsrelevanz (Sensitivität \hat{S}_i) und der Leistungs-Lücke (L_i) für alle betrachteten Charakteristika darstellen. Der Anreiz und die Dringlichkeit von Optimierungsmaßnahmen sind nun genau in dem Bereich, der von Ordinate und Abszisse gleichermaßen weit entfernt ist, am stärksten ausgeprägt. Im dargestellten Beispiel wären dies insbesondere der Personalbedarf, die Haupt- und die Rüstzeit.

5.3.2 Deduktion von Maßnahmen

Die Mitarbeiter eines interdisziplinären Entwicklungsteams können mit den bislang erarbeiteten Informationen transparent und objektiv nachvollziehbar den Handlungsbedarf verstehen und kommunizieren. Vermutlich werden die Ergebnisse einige bislang für unumstößlich gehaltene Grundsätze in Frage stellen und in hohem Maß zu einem noch besseren Kundenverständnis beitragen. Bei der fokussierten Ableitung von Optimierungsmaßnahmen in Bezug auf die priorisierten Charakteristika kann sich das Team auf die folgenden Quellen stützen:

- **Konkurrierende Prozesse und Prozessketten:** Die besten analysierten Werkzeugmaschinen und Fertigungsverfahren zeigen bereits die Machbarkeit und den Weg zu überlegenen technischen Lösungen auf. Die Vielfalt der betrachteten Lösungen erlaubt es, sich an den nachgewiesenermaßen tatsächlich besten Lösungen zu orientieren und unterschiedliche Lösungsprinzipien zu kombinieren. Gerade im Werkzeugmaschinenbau und aus Sicht deutscher Hersteller trägt ein reines "Reverse Engineering" aufgrund der ständigen Innovationstätigkeit aller Wettbewerber nicht weit. Eine bewusste Kombination und Weiterentwicklung fremder Lösungen gibt jedoch neue Impulse und ermöglicht die Loslösung von bislang unantastbaren und eigentlich überholten Konstruktions-Grundsätzen (z.B. Ausschluss bestimmter Werkstoffe, Bauteile oder Funktionsprinzipien).
- **Technologische Trends:** Eine weitere wichtige Quelle für Optimierungsideen sind die aktuell in der anwendungsnahen Forschung diskutierten Trends (vgl. Unterkapitel 2.3). Vor dem Hintergrund eines durch das Benchmarking verbesserten Kundenverständnisses können diese Trends möglicherweise realistischer und objektiver beurteilt werden. In einem weiteren Schritt kann sogar eine Ab-

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

schätzung des sich daraus ergebenden Optimierungspotenzials unter Verwendung des parametrischen Kostenmodells vorgenommen werden.

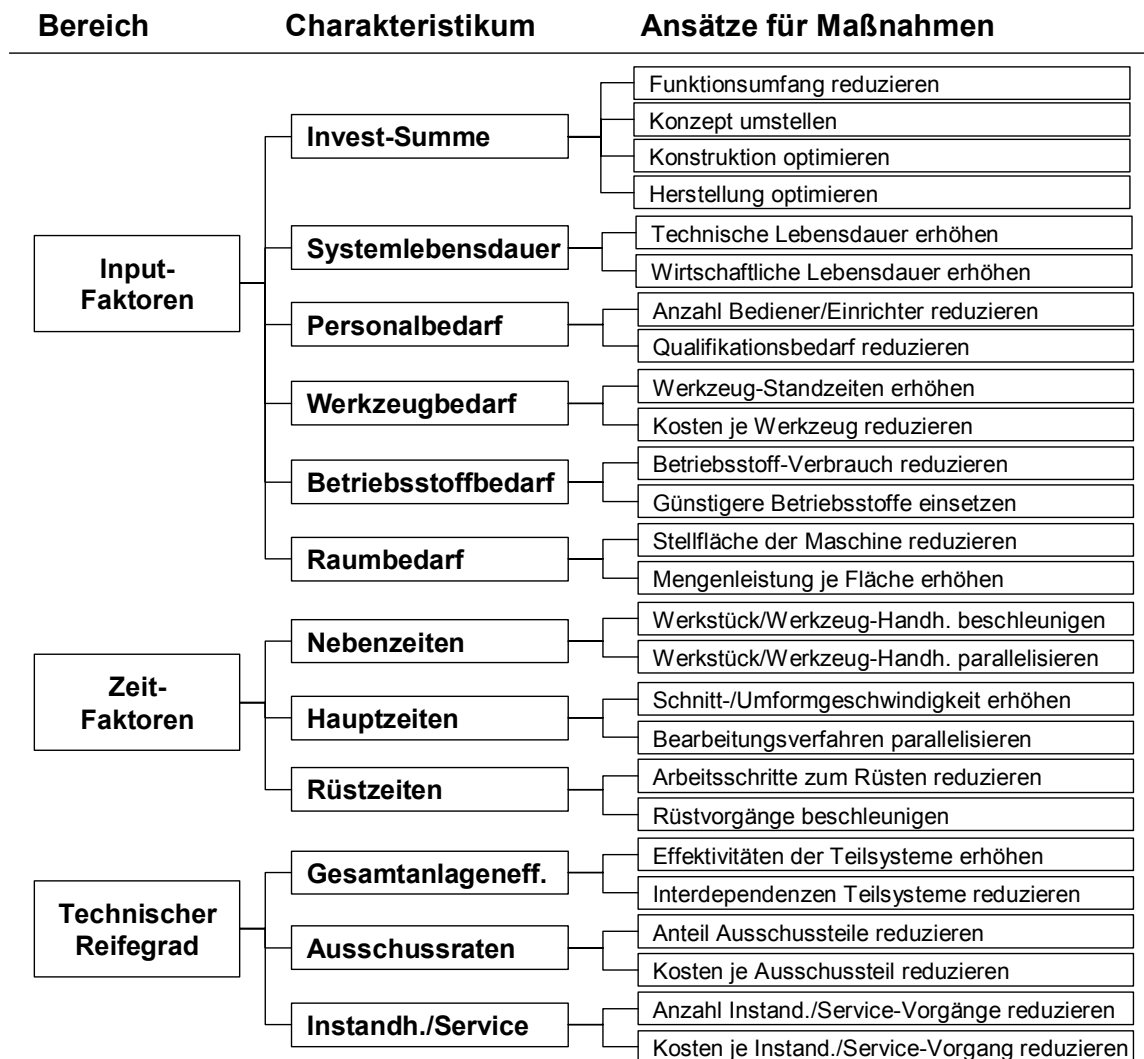


Abbildung 40: Ableitung von Optimierungsmaßnahmen über die Fertigungssystem-Charakteristika¹⁸²

- **Freie Assoziation im interdisziplinären Brainstorming:** Als weitere Quelle sind die bekannten und bewährten Methoden des interdisziplinären Brainstormings zu nennen. Auch die freie Assoziation kann über die genaue Kenntnis von Stärken und Schwächen der eigenen Maschine fokussierter geleitet werden (z.B. Fokus auf Werkzeug- und Steuerungssysteme, falls eine Schwäche bei den Rüstzeiten identifiziert wurde oder auf die Automatisierung der Werkstückzuführung, falls der Personalbedarf zu hoch war). Unterstützend kann beim Brainstorming eine systematische Auflistung von Ansätzen zur Op-

¹⁸² Eigene Darstellung.

5 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Fertigungssystemen

timierung bestimmter Charakteristika eingesetzt werden (vgl. Abbildung 40). Über die detaillierte Untersuchung aller Bereiche kann sichergestellt werden, dass alle relevanten Aspekte erörtert und bedacht werden.

- **Kunden und Lieferanten:** Nachdem das Benchmarking umfassend Auskunft über die Leistungsfähigkeit von Wettbewerber-Ansätzen gegeben hat, ist es sinnvoll, auch Kunden und Lieferanten direkt in den Problemlösungsprozess einzubinden. Auf der Kundenseite ist beispielsweise zu untersuchen, in welchem Umfang sich Kunden tatsächlich so entschieden haben, wie es das Benchmarking suggeriert und welches die Gründe für eventuell abweichende Entscheidungen waren. Möglicherweise muss auf dieser Basis noch einmal das Kostenmodell, die Relevanz nicht direkt adressierter Zielgrößen oder die Realitätsnähe der unterstellten Anwendungsszenarien überprüft werden. Darüber hinaus existieren eventuell bereits auf der Seite der Kunden oder der Lieferanten neue Ansätze und Ideen, die ebenfalls vor dem Hintergrund des Benchmarking wesentlich fundierter eingeordnet werden können.

Die aus den beschriebenen vier Quellen stammenden Optimierungsideen sollten gesammelt und hinsichtlich ihrer (positiven und negativen) Auswirkungen und ihrer einmaligen Kosten evaluiert werden. Die Auswirkungen können dabei individuell für die Fertigungssystem-Charakteristika als relative Kennziffern A_{mi} (m – Index der Maßnahmen, i – Index der Charakteristika) ausgedrückt werden (z.B. Verringerung des Druckluft-Bedarfes um 30% und zugleich Erhöhung des Verkaufspreises um 2%). Die einmaligen Kosten K_m betreffen insbesondere den Aufwand der Neukonstruktion – sie können alternativ in Geldeinheiten oder in Konstruktionsstunden ausgedrückt werden.

Die anschließende **Maßnahmensелеktion** (vgl. Abbildung 41) beinhaltet eine Konsolidierung der Maßnahmenauswirkungen (Summierung unter Gewichtung mit den Sensitivitäten), eine Bestimmung der Maßnahmeneffektivitäten (Quotient aus Gesamtauswirkung A_m und Kosten K_m) und letztlich einen Selektionsalgorithmus. Dieser Algorithmus schreibt eine Sortierung der Maßnahmen nach absteigender Effektivität vor – selektiert werden dann all jene Maßnahmen, deren Kosten in Summe ein bestimmtes Budget nicht überschreiten. Das zur Verfügung stehende Budget sollte abhängig gemacht werden von zukünftig zu erwartenden am Markt absetzbaren Stückzahlen und den damit verbundenen Investitionsrückflüssen.

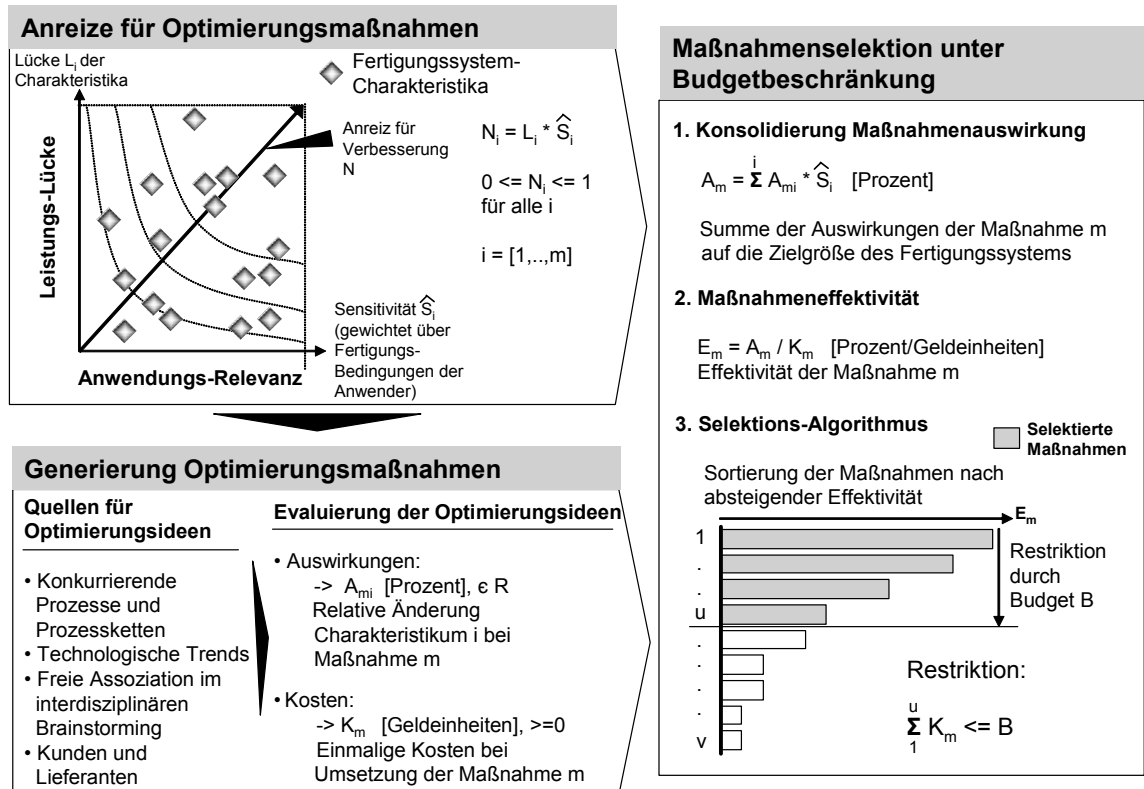


Abbildung 41: Bewertung und Selektion von Optimierungsmaßnahmen für Fertigungssysteme¹⁸³

¹⁸³ Eigene Darstellung.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Als Industriepartner zur Plausibilisierung der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Methode hat sich freundlicherweise die EMAG Maschinenfabrik GmbH zur Verfügung gestellt. Selbstverständlich können an dieser Stelle keine wettbewerbsrelevanten Daten offen gelegt werden – die Informationen werden in einer Weise präsentiert, die keine wettbewerberbezogenen Schlussfolgerungen zulässt. Dies wird sichergestellt über zufällige Verzerrungen der Originaldaten und Indextierungen, die insgesamt zwar keine unternehmensbezogenen Urteile erlauben, aber dennoch im Gesamtzusammenhang realitätsnahe Eindrücke vermitteln.

6.1 Zielsetzungs- und Vorbereitungsphase

6.1.1 Auswahl der Referenzobjekte

Die Fallstudie bezieht sich auf die Prozesskette der Zahnradherstellung ausgehend vom Rohteil bis zum Prozess des Härtens. Untersuchungsziel ist der Vergleich alternativer Werkzeugmaschinen und Fertigungssystem-Konfigurationen des Herstellers und seiner Wettbewerber. Dabei sollen insbesondere die Auswirkungen unterschiedlicher Grade der Prozessintegration¹⁸⁴ unter verschiedenen Fertigungsbedingungen betrachtet werden.

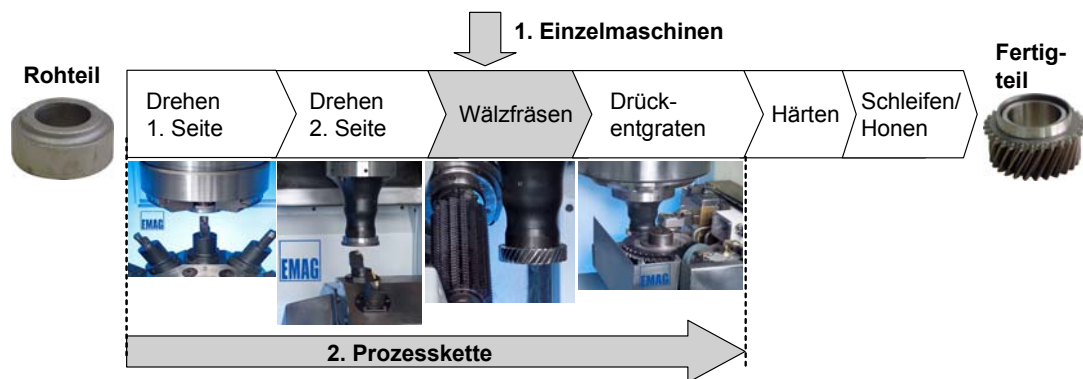


Abbildung 42: Prozesskette der Zahnradfertigung vom Roh- zum Fertigteil¹⁸⁵

Im Einzelnen umfasst die Prozesskette der Zahnradherstellung das Drehen der Vorder- und der Rückseite des Rohteils, die Herstellung der Zahngeometrie durch Wälzfräsen, das Drückentgraten des Werkstücks und anschließend das Härten (vgl. Abbildung 42). Abhängig von den Genauigkeitsanforderungen an das Zahn-

¹⁸⁴ Vgl. zu den Möglichkeiten und Vorteilen der Prozessintegration bei der Zahnradfertigung: Kobialka, 2005.

¹⁸⁵ Eigene Darstellung. Abbildungen zur Verfügung gestellt durch die EMAG Maschinenfabrik GmbH.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

rad wird nach dem Härten der Härteverzug über spanende Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide kompensiert.¹⁸⁶

Das Vorgehen des Benchmarkings folgt dem im vorangegangenen Kapitel beschriebenen zweistufigen Verfahren: In der ersten Stufe werden die alternativen Prozesse innerhalb der jeweiligen alternativen Prozessketten betrachtet. In der zweiten Stufe erfolgt dann die Gesamtbetrachtung und -beurteilung der alternativen Prozessketten.

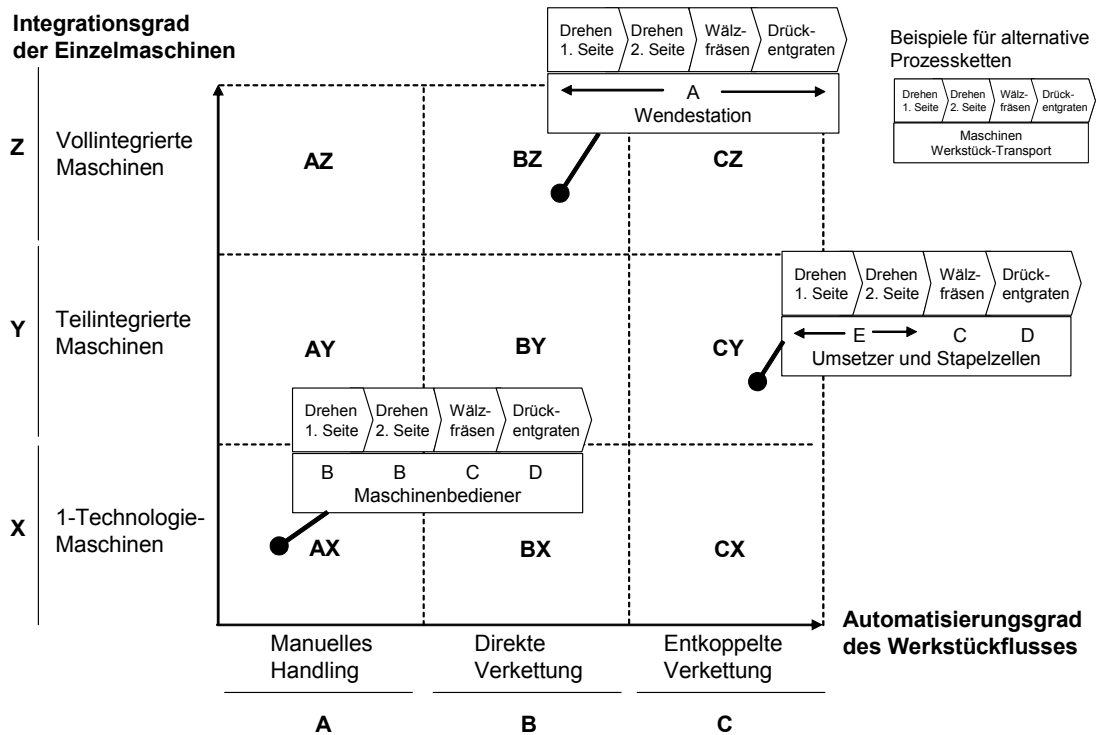


Abbildung 43: Konfiguration alternativer Fertigungssysteme nach den Variationsdimensionen Integrations- und Automatisierungsgrad¹⁸⁷

Die zu betrachtenden Prozessketten werden durch Variation der beiden Dimensionen "Integrationsgrad der Einzelmaschinen" und "Automatisierungsgrad des Werkstückflusses" generiert. Es werden jeweils drei alternative Ausprägungen zu Grunde gelegt (vgl. Abbildung 43), somit ergeben sich in Summe maximal neun Prozessketten-Phänotypen.

¹⁸⁶ Vgl. zur Technologie des WälzfräSENS: Klocke/Kobialka, 1999; Kobialka, 2001; Herzhoff, 2003; Winkel, 2005.

¹⁸⁷ Eigene Darstellung.

6.1.2 Festlegung der Referenzparameter

Entscheidenden Einfluss auf das Benchmarking hat die Auswahl der repräsentativen Anwendungsszenarien (vgl. Abbildung 44). Hier werden drei Szenarien aus der Automobilindustrie ausgewählt, die die umsatzstärkste Abnehmerbranche für Zahnradfertigungssysteme darstellt.¹⁸⁸ In den Szenarien werden sowohl Automobilhersteller-, als auch Zulieferer berücksichtigt. Zudem werden zwei unterschiedliche Werkstücke in die Betrachtung einbezogen: Zum einen ein Gangrad für Handschaltgetriebe (Wechselgetriebe) und zum anderen ein Planetenrad für Automatikgetriebe (Planetengetriebe). Die beiden Zahnräder unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Dimensionen (Durchmesser und Modul), hinsichtlich der Genauigkeitsanforderungen und hinsichtlich des Wälzfräs-Prozesses. So kann bei Planetenrädern im Gegensatz zu Gangrädern in der Regel die Nachbearbeitung nach dem Härten entfallen. Während das Gangrad trocken verzahnt werden kann (keine oder nur Minimalmengenschmierung), ist für das Planetengetriebe der Einsatz von Kühlschmierstoffen Stand der Technik.







	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Fertigungs-Standort	Deutschland Kapitalkosten: 5,6% p.a. Personalkosten: Bediener: 27,0 EUR/h Einrichter: 30,9 EUR/h 	Tschechien Kapitalkosten: 6,2% p.a. Personalkosten: Bediener: 4,3 EUR/h Einrichter: 5,4 EUR/h 	Deutschland Kapitalkosten: 5,6% p.a. Personalkosten: Bediener: 27,0 EUR/h Einrichter: 30,9 EUR/h 
Fertigungs-Aufgabe	Gangrad mit Flansch für PKW-Handschaltgetriebe (d=115mm, m=2,25mm) Trockenbearbeitung  Losgröße: 1.000 (einfaches Rüsten) Auslastung: 75%	Gangrad mit Flansch für PKW-Handschaltgetriebe (d=115mm, m=2,25mm) Trockenbearbeitung  Losgröße: 500 (einfaches Rüsten) Auslastung: 95%	Planetenrad für PKW-Automatikgetriebe (d=38,9mm, m=1.5mm) Naßbearbeitung  Losgröße: 1.000 (einfaches Rüsten) Auslastung: 80%
Maschinen-anwender	Automobil-OEM	Automobil-Zulieferer	Automobil-OEM

Abbildung 44: Definierte Anwendungsszenarien: Fertigungsstandorte und Fertigungsaufgaben¹⁸⁹

Die Szenarien decken die Fertigungsstandorte Deutschland und Tschechien ab. Zusätzlich sollen jedoch auch die Standortfaktor-Kombinationen in den USA, Mexiko, Indien und China betrachtet werden, um mögliche Besonderheiten festzustellen, die bei Maschinenanwendern in diesen Ländern zu berücksichtigen sind.

¹⁸⁸ So werden in Deutschland ca. 70% des Umsatzes mit Verzahnmaschinen über die Automobilindustrie erzielt (vgl. Frick, 2002, S. 65).

¹⁸⁹ Eigene Darstellung.

Zusätzlich gelten als allgemeine Randbedingungen 3-Schicht-Betrieb mit 18 Schichten pro Woche, der Verkauf der Maschinen nach Erreichen der technischen Lebensdauer zum Restwert und der Faktor drei zwischen der Summe aller notwendigen Aufstell-, Lager-, Bedien- und Verkehrsflächen und der reinen Fertigungssystem-Stellfläche.

6.2 Vergleichsphase

6.2.1 Definition der Bewertungsmethode

Für die Berechnung der resultierenden Stückkosten kann das im Abschnitt 5.2.1 dargelegte Kostenmodell weitgehend unverändert verwendet werden. Besonderheiten treten auf a) bei der Definition der Rüstzeit abhängig vom Rüstinhalt, b) den Auswirkungen der Rüstzeit und zudem c) bei den Annahmen in Bezug auf die Qualitätskosten.¹⁹⁰

- **Rüstinhalt:** Es werden zwei Rüstinhalte unterschieden: Das "einfache" Rüsten umfasst die Umstellung des Fertigungssystems auf ein Zahnrad, dessen CNC-Daten bereits vorprogrammiert sind und bei dem die benötigten Werkzeuge und Spannmittel bereits in den beteiligten Werkzeugmaschinen installiert sind. Das "Umrüsten" beinhaltet zusätzlich die neue Programmierung und die Einrichtung neuer Werkzeuge und Spannmittel. Der Zeitbedarf beträgt etwa das fünf- bis zehnfache im Vergleich zum einfachen Rüsten.
- **Auswirkungen der Rüstzeit:** Die Auswirkung der Rüstzeit einzelner Fertigungsverfahren auf die Stillstandszeiten der übrigen Fertigungsverfahren hängt sowohl von dem Grad der Prozessintegration, als auch von der Verkettung des Werkstückflusses ab. Dieser Zusammenhang ist vor dem Hintergrund der beim Wälzfräsen relativ langen Rüstzeiten, die sowohl nach Verschleiß eines Wälzfräasers, als auch bei der Umstellung auf ein neues Werkstück auftreten, besonders wichtig.
- **Qualitätskosten:** Die Einhaltung von Form- und Lagetoleranzen wird maßgeblich getrieben von den Genauigkeitsverlusten, die beim erneuten Einspannen der Werkstücke auftreten. Damit sind Prozessketten im Vorteil, die ein Minimum an Spann-Vorgängen beinhalten und Prozessketten benachteiligt, die ein manuelles Handling der Werkstücke zwischen den Bearbeitungsschritten vorsehen.¹⁹¹

¹⁹⁰ Vgl. speziell zu den bei der Zahnradherstellung entstehenden Kosten: Winkel, 2005, S. 130-135; Kobialka, 2001, S. 77-93; Herzhoff, 2003, S. 113-119.

¹⁹¹ Vgl. Ellermeier/Tschannerl/Mehr, 2002, S. 11.

6.2.2 Ermittlung der Leistungslücken

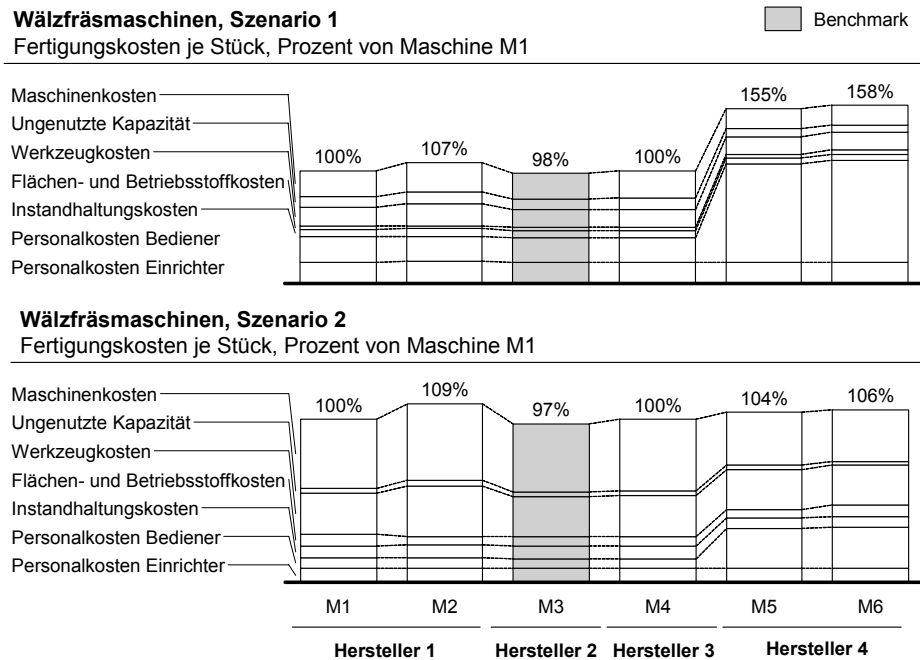


Abbildung 45: Benchmarking auf der Prozess-Ebene: Beispiel Wälzfräsen¹⁹²

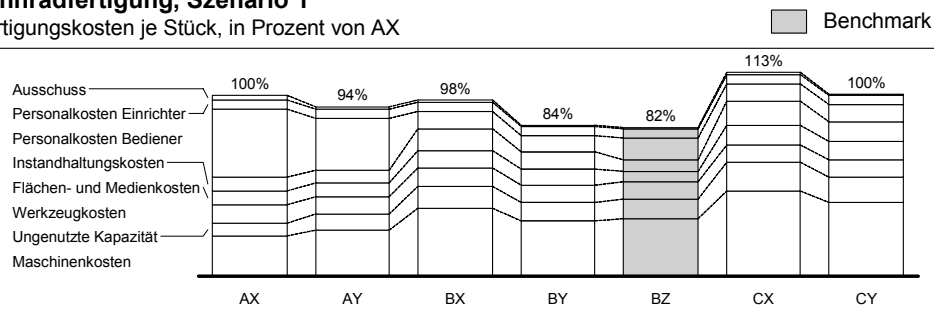
Beispielhaft für die Leistungslücken bei einzelnen Prozess-Schritten werden die Wälzfräsmaschinen betrachtet (vgl. Abbildung 45). Zur Auswahl stehen insgesamt sechs Werkzeugmaschinen von vier Herstellern (vgl. zu den Kennziffern der Wälzfräsmaschinen im Benchmarking: Abbildung 69 im Anhang, S. 137). Es zeigt sich, dass die Personalkosten einen erheblichen Anteil an den Fertigungskosten ausmachen, obwohl die Werkzeugmaschinen M1 bis M4 in Mehrmaschinenbedienung betrieben werden. Die beiden weiteren maßgeblichen Kostenarten sind die Maschinen- und die Werkzeugkosten. Die Überlegenheit der Maschine M3 in beiden Szenarien (Deutschland und Tschechien) beruht hier primär auf dem Vorteil in Bezug auf die Mengenleistung. M2 und M3 sind in der Lage, eine um ca. 25% höhere Mengenleistung im Vergleich zu den übrigen Maschinen zu erreichen. Die Maschine M1 ist ebenfalls in beiden Szenarien nah am Bestwert, dies wird möglich trotz der etwas geringeren Mengenleistung durch sowohl geringe Maschinenkosten, als auch einen geringen Personalbedarf. Der hohe Personalbedarf der Maschinen M5 und M6 bei gleichzeitig geringerem Investitionsbedarf bewirkt, dass die Maschinen im Szenario 2 (Tschechien) wesentlich günstiger als im Szenario 1 (Deutschland) bewertet werden.

¹⁹² Eigene Darstellung, Daten indexiert.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Zahnradfertigung, Szenario 1

Fertigungskosten je Stück, in Prozent von AX



Zahnradfertigung, Szenario 2

Fertigungskosten je Stück, in Prozent von AX

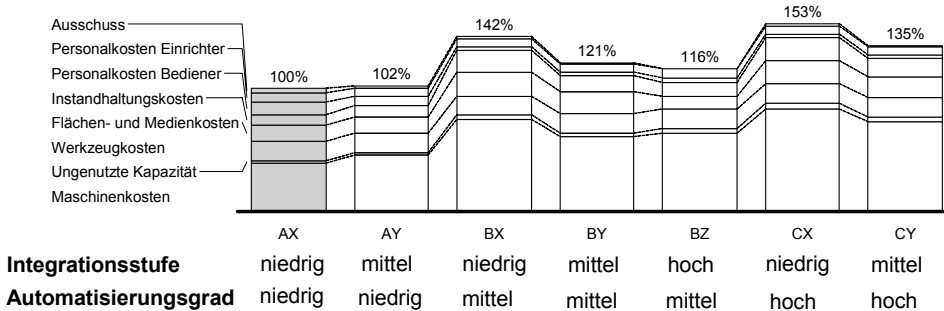


Abbildung 46: Benchmarking auf der Prozessketten-Ebene¹⁹³

Bei der Betrachtung der gesamten Prozesskette als Zusammensetzung der jeweils optimalen Werkzeugmaschinen je Prozess-Schritt ergeben sich weitere interessante Feststellungen. So unterscheiden sich die je nach Szenario optimalen Prozessketten erheblich voneinander. Während für das Szenario 1 die vollintegrierte Maschine mit direkt gekoppeltem Materialfluss die beste Lösung darstellt, ist im Szenario 2 die Prozesskette aus 1-Technologie-Maschinen und mit manueller Werkstück-Handhabung überlegen. In beiden Szenarien sind jedoch die Lösungen mit verketteten und zugleich über Stapelzellen entkoppelten Maschinen (CX und CY) trotz der damit einhergehenden Vorteile für den Ausschuss und die Stillstandszeiten nicht empfehlenswert. Dies hängt insbesondere mit den hohen Investitionskosten für die dazu notwendigen Automatisierungseinrichtungen zusammen. Die stärker prozessintegrierten Lösungen sind für das Szenario 2 aufgrund der dort geringeren Losgrößen und der damit bei systemweiten Stillstandszeiten verringerten Mengenleistung weniger attraktiv.

¹⁹³ Eigene Darstellung, Daten indexiert.

6.3 Umsetzungsphase

6.3.1 Analyse der Leistungslücken

Die Leistungslücken bei einzelnen Fertigungssystem-Charakteristika können nur vor dem Hintergrund ihrer Sensitivitäten umfassend beurteilt werden. Bei den betrachteten Szenarien ist zu beobachten, dass nur eine geringe Anzahl von Charakteristika eine sehr hohe Sensitivität aufweist (vgl. Abbildung 47). Auf der anderen Seite lassen sich viele Charakteristika identifizieren, deren Relevanz praktisch vernachlässigbar ist.

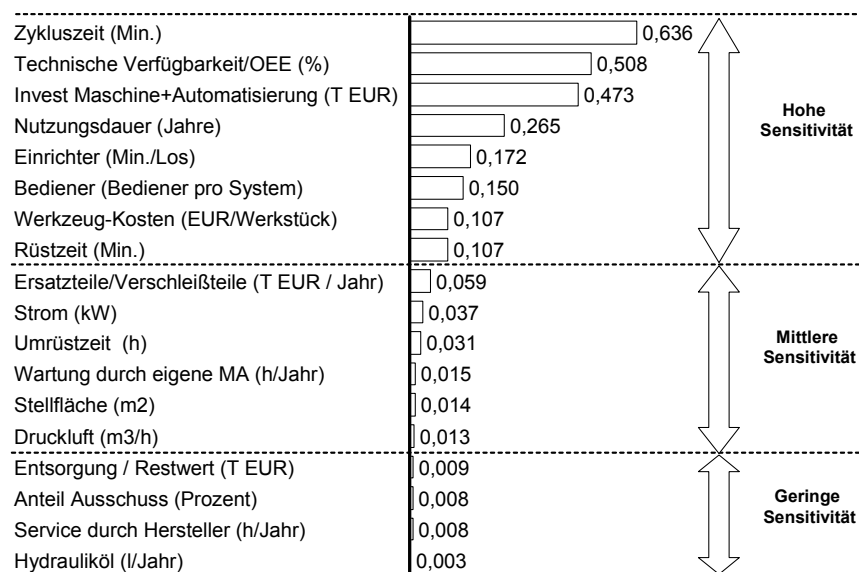


Abbildung 47: Analyse der Sensitivitäten der Charakteristika¹⁹⁴

Eine Analyse der Auswirkungen extremer Ausprägungen von Fertigungsbedingungen macht deutlich, in welchem Rahmen sich die Sensitivitäten bewegen können (vgl. Abbildung 48). So nimmt bei sehr großen Losgrößen beispielsweise die Bedeutung der Zykluszeit und der technischen Verfügbarkeit des Systems noch erheblich zu. Bei sehr kleinen Losgrößen werden dagegen die Rüstdauer und der Bedarf an Einrichterzeit wesentlich wichtiger und die Zykluszeit beinahe unbedeutend. An einem Niedrigstlohnstandort wie China verringert sich, wie zu erwarten, die Relevanz des Personalbedarfs und der Kapitalbedarf wird zum entscheidenden Einflussfaktor.

Separat zu betrachten ist das Flexibilitätsangebot der Fertigungssysteme. Flexibilität in der breiten Definition "Elastizität gegenüber Änderungen der Fertigungsbedingungen" erstreckt sich auf ein unüberschaubares Gebiet, da sämtliche Para-

¹⁹⁴ Eigene Darstellung, Szenario 1.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

meter von Standortbedingungen, Fertigungsaufgaben und Kundensegmenten variiert werden können. Von großer Anwendungsrelevanz sind in der Regel die Losgrößen- und die Auslastungs-Flexibilität (Aspekte der Mengen-Flexibilität). In beiden Fällen ist es für den Anwender wichtig, dass die Stückkosten auch bei temporär geringen Losgrößen oder einer temporär geringen Systemauslastung nicht übermäßig hoch werden.

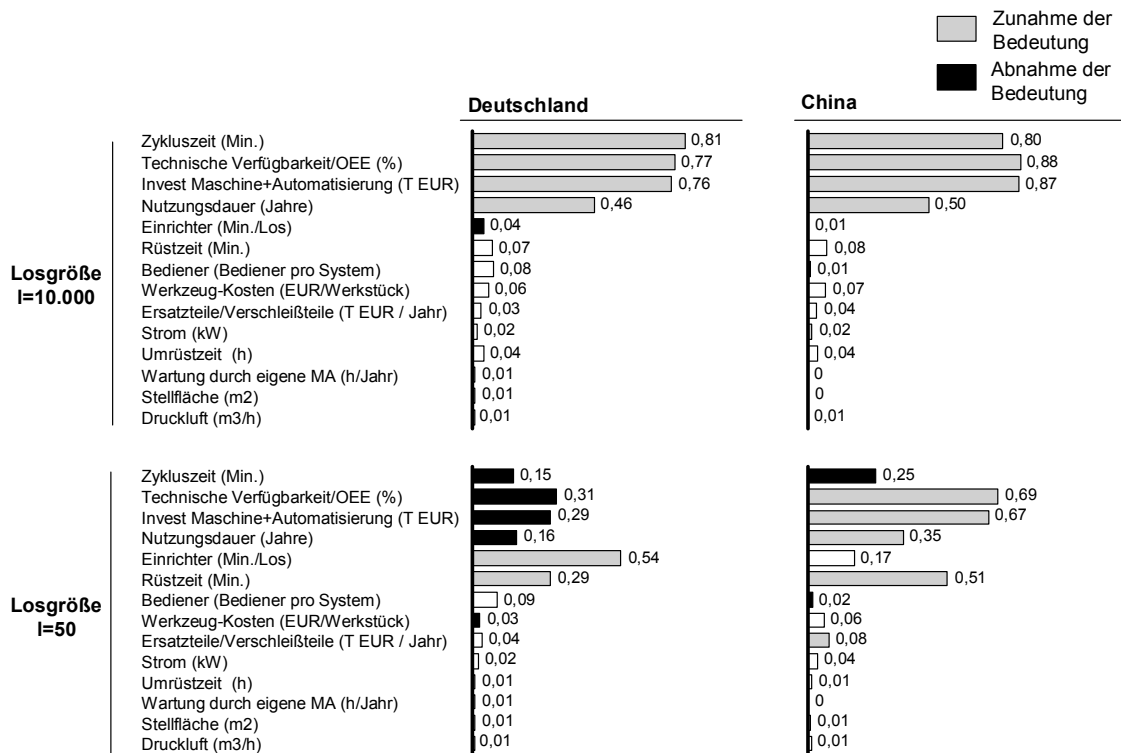


Abbildung 48: Variation der Sensitivitäten unter extremen Randbedingungen¹⁹⁵

Um die beiden Flexibilitätsarten zu testen, wurde jeweils die Zielgröße der Stückkosten in der Relation von einem Zustand mit geringer Ausprägung gegenüber einem Zustand mit hoher Ausprägung berechnet. Die Kennziffer gibt also an, in welchem Ausmaß bei Abruf der jeweiligen Flexibilität mit einer Steigerung der Stückkosten zu rechnen ist (vgl. Abbildung 49). Es zeigt sich, dass die Flexibilität in Bezug auf die Auslastung umso stärker ausgeprägt ist, je weniger kapitalintensiv das Fertigungssystem ist. Dies lässt sich auch darauf zurückführen, dass in die Berechnung Personalüberhänge nicht eingehen. Doch selbst eine Berücksichtigung von nur langsam abbaubaren Personalüberhängen würde die kapitalintensiveren Systeme als unattraktiv erscheinen lassen. Schließlich lassen sich

¹⁹⁵ Eigene Darstellung.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

werkstück- und kundenspezifische Fertigungslösungen in der Regel nur unter hohen Verlustabschreibungen am Gebrauchtmaschinenmarkt absetzen.

Die Analyse der Losgrößen-Flexibilität zeigt ein gänzlich anderes Bild. Während direkt verkettete Systeme (BX, BY, BZ) sehr unvorteilhaft sind, erscheinen sowohl Systeme mit geringem, als auch mit hohem Automatisierungsgrad sehr positiv. Dies lässt sich dadurch begründen, dass eine direkte Verkettung bei kleinen Losgrößen über lange Zeiträume das gesamte System so lange in Stillstand versetzt, wie es der Rüstzeit des rüstintensivsten der beteiligten Prozesse entspricht. Dies bedeutet hier konkret, dass die Dreh-Prozesse und der Drückentgrat-Prozess lange und häufig auf das Rüsten und Einfahren des Wälzfräsens warten müssen. Umgekehrt kann bei einer Entkopplung (durch manuelle Handhabung oder automatisierte Stapelzellen) bereits in der System-Konfiguration eine entsprechende Abstimmung der Zyklus-Zeiten erfolgen. Beispielsweise sollte dann die Zyklus-Zeit über die beiden Dreh-Prozesse etwas höher als die Zyklus-Zeit der Wälzfräsmaschine sein, so dass die Drehmaschine während der Rüstarbeiten an der Wälzfräsmaschine ohne den Aufbau übermäßig großer Puffer-Bestände ausgelastet wird.

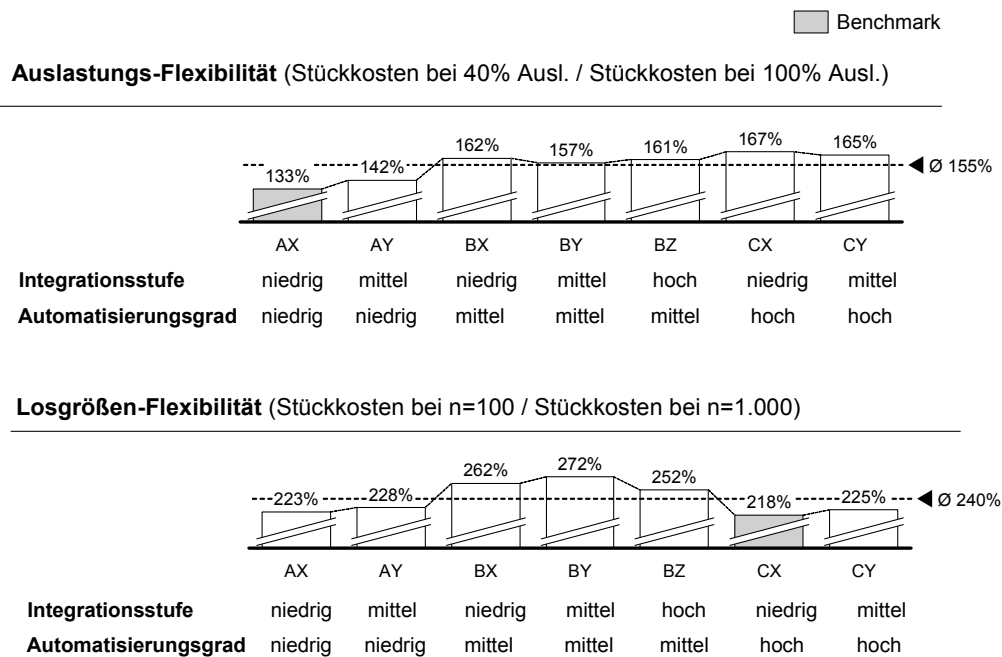


Abbildung 49: Vergleich der Auslastungs- und Losgrößen-Flexibilität¹⁹⁶

¹⁹⁶ Eigene Darstellung.

6.3.2 Deduktion von Maßnahmen

Zur Unterstützung der Maßnahmenableitung sind über die Sensitivitäten hinaus auch die Leistungslücken der einzelnen Charakteristika zu erfassen. In der Koordinatendarstellung (vgl. das realitätsnahe Beispiel in Abbildung 50) lässt sich übersichtlich und nachvollziehbar der Handlungsbedarf für Optimierungsprojekte ablesen.

Grundsätzlich ist der Optimierungsanreiz umso höher, je weiter das Charakteristikum von Ordinate und Abszisse entfernt aufgetragen ist. Umgekehrt besteht kein Optimierungsanreiz, wenn Anwendungs-Relevanz oder Leistungslücke nicht stark ausgeprägt sind. Im hier aufgezeigten Beispiel gibt es kein Charakteristikum, das in einer absolut ungünstigen Position liegt. Konkret wäre die Einordnung eines Charakteristikums im rechten oberen Bereich des Koordinatensystems ein klares Indiz dafür, dass das betrachtete Fertigungssystem "am Markt vorbei" entwickelt wurde. In der Priorisierung weisen jedoch eindeutig die Zykluszeit, die Rüstzeit, der Invest-Betrag und die technische Verfügbarkeit die höchste Dringlichkeit auf. Im hier aufgezeigten Beispiel sind dem gegenüber die Druckluft-, Hydrauliköl- und Strombedarfe eher von untergeordneter Bedeutung.

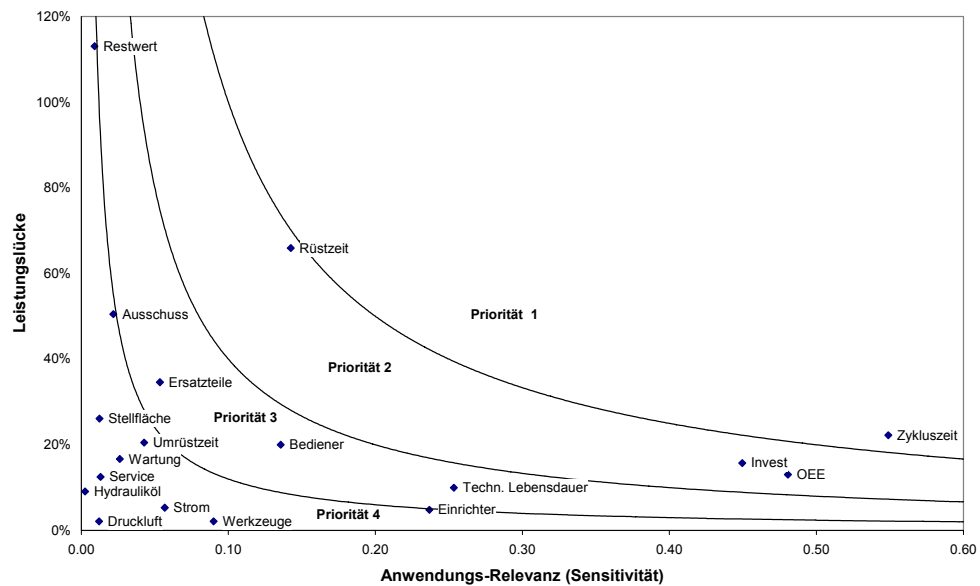


Abbildung 50: Priorisierung der Charakteristika: Beispiel¹⁹⁷

Die aus der dargestellten Form der Priorisierung abgeleiteten Erkenntnisse konnten im Praxisfall wichtige Impulse und konkrete Maßnahmen für Weiter- und Neuentwicklungen bewirken (vgl. Abbildung 51 für hypothetische Beispiele). Im

¹⁹⁷ Eigene Darstellung.

6 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Anschluss an die Ableitung von Maßnahmen kann mit Hilfe des parametrischen Kostenmodells der Effekt dieser Maßnahmen auf die Schließung der Stückkosten-Lücke zum besten Fertigungssystem approximativ aufgezeigt werden. Hierbei ist ein Maßnahmenüberschuss anzustreben, um zum einen eine Sicherheit gegenüber sich als nicht umsetzbar erweisenden Maßnahmen vorzuhalten und zum anderen einen nachhaltigen Vorsprung vor dem Wettbewerb zu gewährleisten (vgl. Abbildung 52).

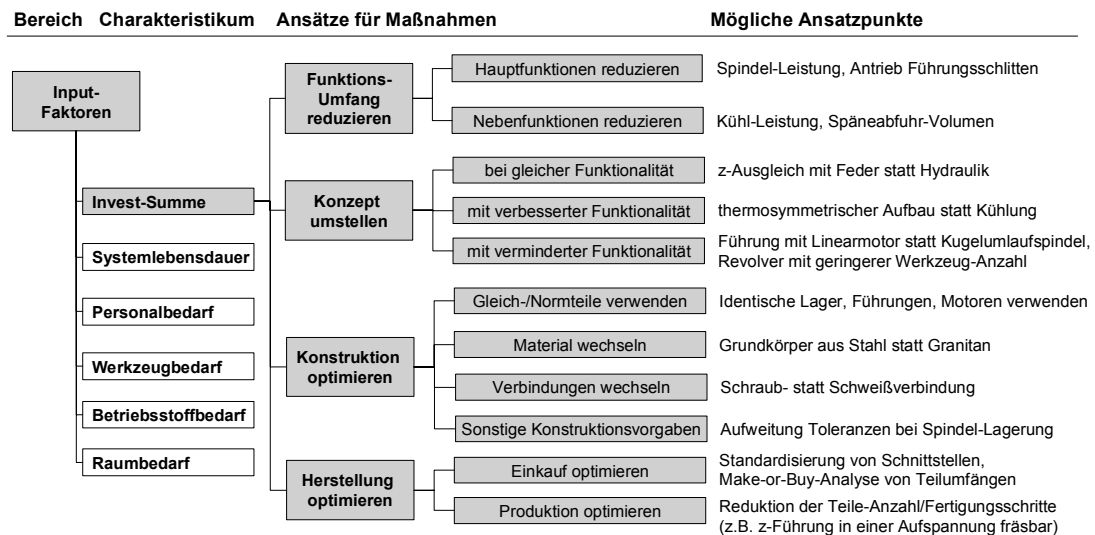


Abbildung 51: Ableitung konkreter Optimierungsmaßnahmen (hypothetische Beispiele)¹⁹⁸

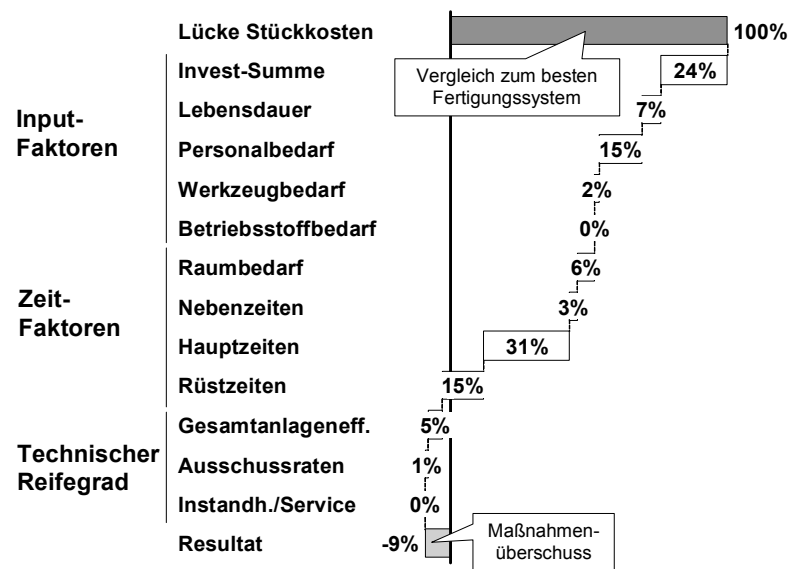


Abbildung 52: Hinterlegung der Leistungslücke mit Maßnahmen¹⁹⁹

¹⁹⁸ Eigene Darstellung aufbauend auf Abbildung 40 (S. 87).

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Aufbauend auf den im Unterkapitel 3.2 diskutierten Bewertungsansätzen wird ein umfassender Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen vorgestellt, der die Schwächen bestehender Bewertungsansätze im Hinblick auf Ganzheitlichkeit, Objektivität und Anwendbarkeit vermeiden und systematisch alle im Werkzeugmaschinenbau relevanten Erfolgsfaktoren umfassen soll.

7.1 Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen

Der Ansatz beinhaltet fünf Kern-Elemente (vgl. Abbildung 53):

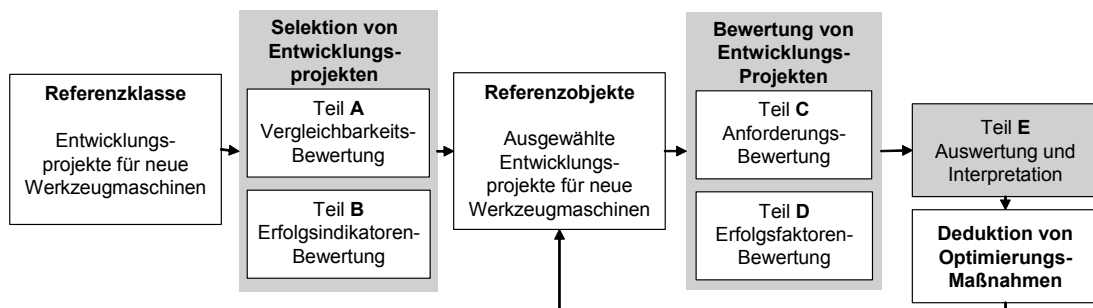


Abbildung 53: Kernelemente der neuen Methode zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen²⁰⁰

- A) **Vergleichbarkeitsbewertung:** In Frage kommende Entwicklungsprojekte unterschiedlicher Hersteller werden in Bezug auf ihre Vergleichbarkeit untereinander bewertet und selektiert, um die Diversität in den Projektvoraussetzungen zu kontrollieren.
- B) **Erfolgsindikatorenbewertung:** Ziel ist es, möglichst erfolgreiche Projekte als Vergleichsmaßstab zu erhalten und damit diejenigen Projekte zu identifizieren, aus denen Schlussfolgerungen auf die optimale Ausgestaltung kritischer Erfolgsfaktoren abgeleitet werden können.
- C) **Anforderungsbewertung:** Aus einer detaillierten Bewertung der Anforderungen des Projekt-Kontextes kann abgeleitet werden, in welchem Umfang bestimmte Erfolgsfaktoren vorliegen sollten.

¹⁹⁹ Eigene Darstellung.

²⁰⁰ Eigene Darstellung.

- D) **Erfolgsfaktorenbewertung:** Dieses Element beinhaltet die Feststellung der tatsächlichen Ausprägungen der Erfolgsfaktoren in den einzelnen Projekten.
- E) **Auswertung und Interpretation:** Der Vergleich der erforderlichen und tatsächlichen Erfolgsfaktor-Ausprägungen erlaubt Schlussfolgerungen für die Priorisierung und zukünftige Optimierung der Erfolgsfaktoren.

7.1.1 Zielsetzungs- und Vorbereitungsphase

7.1.1.1 Auswahl der Referenzobjekte

Referenzobjekte sind hier Projekte zur Neuentwicklung von Werkzeugmaschinen. Die Projekte sollten in Bezug auf den Innovationsgrad, die Komplexität, die Interdisziplinarität, die Wertschöpfungstiefe und die globale Zusammensetzung des Entwicklungsteams gut vergleichbar sein (vgl. Tabelle 8). Unterschiede in den genannten Randbedingungen des Projekts müssen durch die Anforderungsbewertung der betrachteten Projekte abgebildet werden.

Typus	Vergleichbarkeitsindikator	Maßgrößen
Produktsicht	Innovationsgrad	Anteil neuer Bauteile und Technologien, Unternehmensneuheit/Marktneuheit/Weltneuheit
	Komplexität	Anzahl Einzelteile/Baugruppen, Anteil Elektronik/Software, Umfang Verfahrens- und Prozessintegration
Projektsicht	Interdisziplinarität	Anzahl beteiligter Fachspezialisten und Anteil fachübergreifender Probleme
	Externe Entwicklungs-Wertschöpfung	Anteil Fremdkonstruktion
	Externe Produktions-Wertschöpfung	Anteil Material- von Herstellkosten
	Globalisierungsgrad	Globale Dispersion von Entwicklung/Produktion/Absatz

Tabelle 8: Vergleichbarkeitsindikatoren: Maßgrößen aus Produkt- und Projektsicht²⁰¹

Kriterien für die Auswahl der zu betrachtenden Hersteller sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit:

²⁰¹ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

1. Erfolgreiches Agieren des Herstellers am Markt (objektiv nachvollziehbar durch betriebswirtschaftliche Kenngrößen wie Kapital- und Umsatzrenditen sowie Umsatzwachstum),
2. begründete Vermutung eines hohen Leistungsniveaus im Produktentstehungsprozess und
3. Bereitschaft zur Teilnahme am Benchmarking.

Kriterien für die Auswahl des Referenzobjektes, also des Entwicklungsprojektes sind:

1. Einführung des Produkts am Markt bereits erfolgt (erst dies erlaubt Aussagen über den Erfolg des Projekts),
2. positive Ausprägung der Erfolgsindikatoren,
3. möglichst große Ähnlichkeit in Bezug auf die obengenannten Randbedingungen (zur Herstellung der Vergleichbarkeit) und
4. Aktualität, d. h., der Abschluss des Projekts sollte nicht länger als maximal drei Jahre zurückliegen. Damit kann zum einen sichergestellt werden, dass noch genügend Informationen über den Verlauf des Projekts im Unternehmen vorliegen und zum anderen, dass aktuelle Instrumente und Methoden zur Verfügung standen.

Bei den Erfolgsindikatoren ist zwischen unmittelbaren und mittelbaren Indikatoren zu unterscheiden. Die unmittelbaren Erfolgsindikatoren liegen im direkten Einflussbereich der Entwicklungsmitarbeiter – dies sind insbesondere die Dauer der Entwicklung, die (intern und extern verursachten) Entwicklungskosten und die allgemeine Qualität der Entwicklungsergebnisse. Mittelbar kommen weitere, u.a. durch die Funktionen Produktion und Vertrieb (evt. auch Einkauf, Marketing, etc.) beeinflusste Erfolgsindikatoren, wie die resultierenden Herstellkosten, die Gewinnmarge und der dauerhafte Erfolg am Markt hinzu. Die Erfüllung der Erfolgsindikatoren kann nur über fest definierte und nicht manipulierbare Maßgrößen objektiv beurteilt werden (vgl. Tabelle 9). Nicht objektiv nachvollziehbare Aussagen wie ein "guter Zuspruch beim Kunden" (bei welchen Kunden?, haben sich daraus Aufträge ergeben?), "ansprechendes Design" (für wen ansprechend?, in welcher Hinsicht ansprechend?) oder "wirtschaftlicher als die Vorgänger-Baureihe" (Herstellkosten?, Selbstkosten?, Stückkosten bestimmter hergestellter Werkstücke?) sind somit nicht geeignet.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Typus	Erfolgsindikator	Maßgrößen
Unmittelbar	Entwicklungsdauer	Dauer vom Entwicklungsbeginn bis zur Produkt-Vorstellung / zur ersten Inbetriebnahme bei einem Kunden
	Entwicklungsqualität	Anzahl und Umfang der Änderungen nach Prototyp-Herstellung und nach Serienanlauf, vor und nach Auslieferung entdeckte Abweichungen von den in den Anforderungen festgelegten Spezifikationen
	Entwicklungskosten	Personal- und Sachkosten des Entwicklungsteams, Kosten für Prototypen und Erprobung, Kosten externer Entwickler
Mittelbar	Gewinn/Deckungsbeitrag	Materialkosten, Fertigungskosten, Montagekosten, Verwaltungs- und Vertriebskosten, Gewährleistungs- und Kulanzkosten im Vergleich zum erzielbaren Verkaufspreis
	Marktakzeptanz	Entwicklung von Umsatz, Marktanteilen und Kundenanzahl, Penetration von Kundensegmenten
	Auslieferungszeit	Durchschnittliche und maximale Dauer von der Kundenbestellung bis zur Lieferung/Inbetriebnahme

Tabelle 9: Erfolgsindikatoren: Mittelbare und unmittelbare Maßgrößen²⁰²

7.1.1.2 Festlegung der Referenzparameter

Referenzparameter sind hier die Ausprägungen der Erfolgsfaktoren für einen im Hinblick auf die oben beschriebenen Erfolgsindikatoren optimalen Produktentstehungsprozess. Aus einem branchenspezifischen Erfolgsfaktorenmodell sollen dazu im Folgenden Fragen abgeleitet werden, deren Beantwortung Aussagen über die Ausprägung der Erfolgsfaktoren bei einem konkreten Projekt erlaubt. Die Zusammenstellung der Erfolgsfaktoren und die unterstellten Zusammenhänge mit den Erfolgsindikatoren haben im Rahmen dieser Arbeit den Charakter von Arbeitshypothesen. Der weitere Gang der Arbeit, insbesondere die exemplarische Anwendung der Methodik, soll die Richtigkeit dieser Annahmen verifizieren oder falsifizieren.

Die Erfolgsfaktoren werden in Erfolgsvoraussetzungen und Erfolgstreiber kategorisiert. Die Erfolgsvoraussetzungen stellen Hygienefaktoren (Vorbedingungen) für funktionierende Produktentstehungsprozesse dar. Die Maßnahmen, um die Erfolgsvoraussetzungen zu erfüllen, werden im Folgenden als "Instrumente" bezeichnet. Die Erfolgstreiber hingegen unterscheiden (lediglich) funktionierende von erfolgreichen Produktentstehungsprozessen. Die Maßnahmen zur Gewährleistung der Erfolgstreiber werden als "Organisationsmethoden" bezeichnet.

²⁰² Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Als Erfolgsvoraussetzungen werden folgende Aspekte betrachtet:

- Information und Kommunikation
 - Team-Interaktion: Frequenz und Dichte des Informationsaustausches zwischen den Mitgliedern des Entwicklungsteams.
 - Produktdatenmanagement: Effizienz der Verwaltung aller produktdefinierenden Daten.
- Entwicklungswerkzeuge: Einsatz von Werkzeugen zur Unterstützung der Konzeptentwicklung und Konzeptvalidierung im Entwicklungsprozess.

Zu den Erfolgstreibern zählen:

- Projektmanagement
 - Projektorganisation: Effektivität der Koordination aller Entwicklungsressourcen.
 - Transparenz: Frequenz und Detailgrad der Informationen über Kostenstände und Reifegrade, die an den Projektleiter und die Geschäftsleitung kommuniziert werden.
- Kollaboration: Effektivität der übergreifenden Zusammenarbeit mit anderen betrieblichen Funktionen (Vertrieb, Marketing, Produktion, Einkauf, Controlling) und externen Interaktionspartnern (Kunden, Lieferanten, evt. Entwicklungspartner).

7.1.2 Vergleichsphase

Unterschiedliche Randbedingungen erfordern jedoch unterschiedlich starke Ausprägungen der Erfolgsfaktoren. Dies verlangt eine Dualität der Referenzparameter, neben den Ist-Wert $E_{i,IST}$ muss für jeden Erfolgsfaktor über alle Referenzprojekte hinweg ein projektspezifischer Soll-Wert $E_{i,SOLL}$ gestellt werden (siehe Abbildung 54). Dabei steht der Index i für die Erfolgsfaktoren.

Den Anforderungen A_j an den Entwicklungsprozess, die zum einen aus dem Produkt und zum anderen aus dem globalen Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk resultieren (vgl. Kapitel 2), können die Beiträge der Erfolgsfaktoren zugeordnet werden. Aus einer Anforderungsmatrix $E_{ij,ANF}$ können anschließend projektspezifische Soll-Werte $E_{i,SOLL}$ für die Ausprägung der Erfolgsindikatoren deduziert werden.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

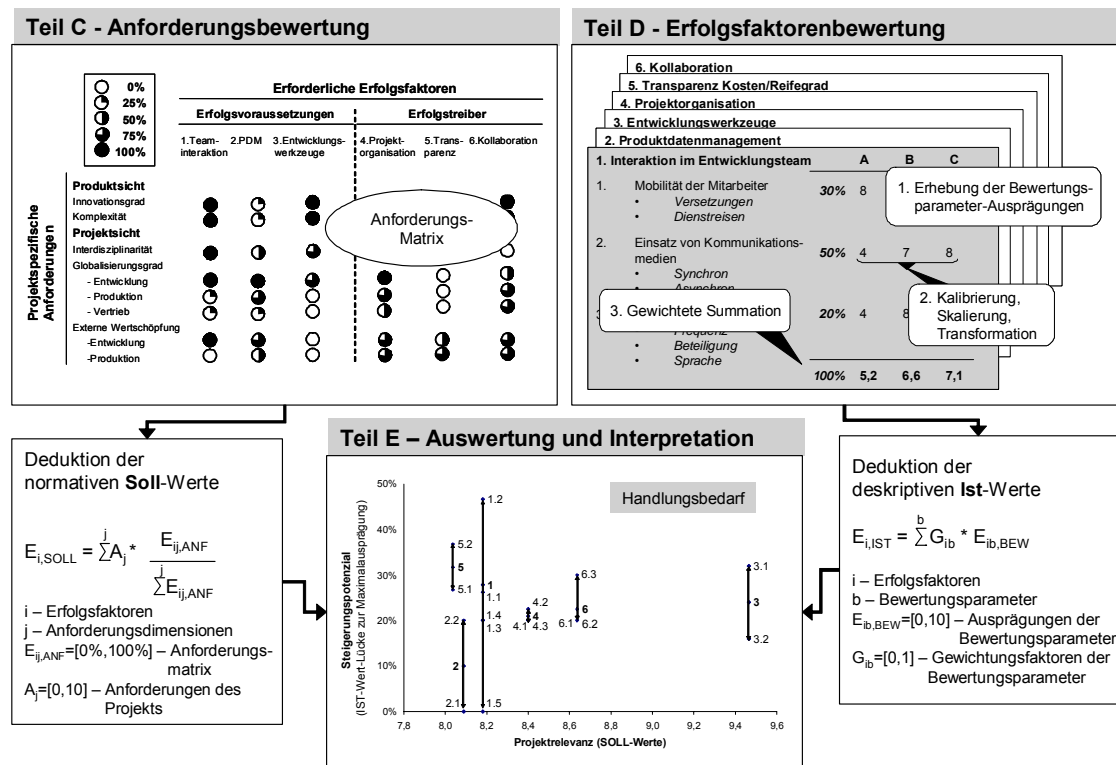


Abbildung 54: Bewertung und Auswertung der Referenzparameter: Soll- und Ist-Werte²⁰³

Die Ist-Ausprägungen $E_{i,IST}$ setzen sich zusammen aus den erfolgsfaktorspezifischen Bewertungsparametern $E_{ib,BEW}$ (Index b für die Bewertungsparameter), die jeweils mit dem Faktor G_{ib} gewichtet werden.

Die Erhebung der Parameter $E_{ib,BEW}$ und A_j erfolgt primär über strukturierte Interviews der am Projekt beteiligten Mitarbeiter, Sichtung von Projekt-Unterlagen sowie die Auswertung von öffentlich zugänglichen Unternehmensinformationen. Es gilt, die Bewertungsparameter $E_{ib,BEW}$ über die Referenzprojekte hinweg möglichst objektiv und vollständig zu erfassen und daraus für jeden Erfolgsfaktor eine ausgewogene Gesamtbewertung zu generieren.²⁰⁴ Aus der Erfassung der Primärdaten resultieren zunächst nominalskalierte (z.B. universeller Zugriff auf die Produktdaten), ordinalskalierte (z.B. geringer, mittlerer oder intensiver Einsatz der Wertanalyse) oder metrisch skalierte (z.B. Frequenz von Projektbesprechungen in Tagen) Merkmale.²⁰⁵ Um aus diesen unterschiedlich skalierten Merkmalen einheit-

²⁰³ Eigene Darstellung.

²⁰⁴ Vgl. z.B. den Kriterienkatalog für Konstruktionsbereiche in: Birkhofer/Diekhöner/Höffler/Sachs/Voegele, 1985, S. 215-225. Dieser Katalog definiert implizit Erfolgsfaktoren und ermöglicht die unternehmensspezifische Bewertung von Konstruktionsbereichen hinsichtlich dieser Erfolgsfaktoren.

²⁰⁵ Vgl. zu der Klassifizierung von Skalen: Heike/Tarcolea, 2000, S. 18-22.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

lich skalierte Bewertungsparameter zu generieren, sind einige Umformungen vorzunehmen. Nominalskalierte Merkmale sind durch eine Kalibrierung, also die Generierung einer Reihenfolge durch wertende Beurteilung der qualitativen Ausprägungen in ordinalskalierte Merkmale umzuformen. Letztere sind durch eine Skalierung, also die Definition von Abständen zwischen den Merkmalsausprägungen, in metrisch skalierte Merkmale zu wandeln. Abschließend ist durch lineare und reziproke Transformationen sicherzustellen, dass die abgeleiteten Bewertungsparameter sich in einem einheitlichen Intervall bewegen (vgl. Abbildung 55).²⁰⁶

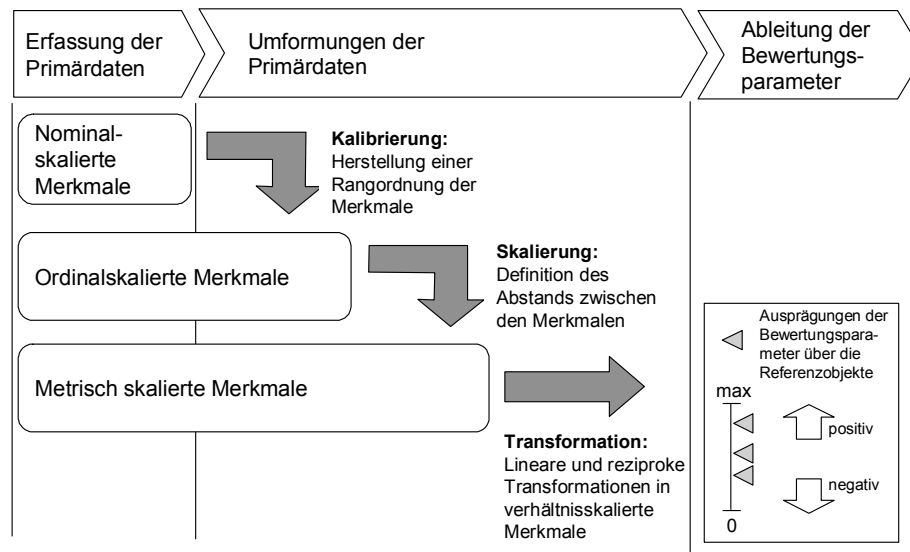


Abbildung 55: Umformungen der Primärdaten zu Bewertungsparametern: Kalibrierung, Skalierung und Transformation²⁰⁷

7.1.3 Umsetzungsphase

Aus dem Vergleich der Ist- und der Soll-Ausprägungen über die Erfolgsfaktoren hinweg kann direkt auf Schwachstellen und ein entsprechendes Verbesserungspotenzial geschlossen werden. Der Vergleich der jeweils zugrunde liegenden Bewertungsparameter erlaubt direkte Schlussfolgerungen auf konkrete Optimierungsmaßnahmen. Zudem kann mit dem Verweis auf eines oder mehrere Referenzobjekte mit stärkerer Ausprägung des Erfolgsfaktors die Realisierbarkeit des Potenzials glaubwürdig unterstrichen werden.

²⁰⁶ Vgl. zu Datentransformationen: Hartung/Elpelt/Klösener, 1999, S. 349-354.

²⁰⁷ Eigene Darstellung.

$$\epsilon = \frac{\sum_i E_{i, \text{SOLL}} * \frac{E_{i, \text{IST}}}{E_{i, \text{IST, MAX}}}}{\sum_i E_{i, \text{SOLL}}}$$

Abbildung 56: Definition des Erfüllungsgrades: Bildung einer integrierenden Kennziffer²⁰⁸

Der Bewertungsansatz über die sechs Erfolgsfaktoren erlaubt bislang kein Gesamturteil über die Erfüllung der Anforderungen an den spezifischen Produktentstehungsprozess. Aus den vorliegenden Parametern $E_{i, \text{IST}}$ und $E_{i, \text{SOLL}}$ lässt sich eine integrierende Kennzahl, der Erfüllungsgrad ϵ , generieren (vgl. Abbildung 56). ϵ ist eine Kennziffer im Intervall zwischen 0 und 1 (bzw. 0% und 100%), die einen Indikator für den Umfang der Entsprechung der tatsächlichen Ausprägungen der Erfolgsfaktoren zu den erforderlichen Ausprägungen darstellt. Der Erfüllungsgrad kann jedoch aufgrund seines Durchschnittscharakters die detaillierte Betrachtung der Erfolgsfaktoren nicht ersetzen.

7.2 Detaillierung der Bewertungsparameter

Die innerhalb der Unterkapitel 3.4 bis 3.6 erörterten Methoden und Instrumente stellen den branchenübergreifenden "Stand der Technik" dar. In der Vorbereitung auf ein ganzheitliches Benchmarking der Produktentstehungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau bedarf es zum einen der Abschätzung der Übertragbarkeit (Transfer) und zum anderen der Integration zu einer vollständigen und überlappungsfreien Gesamtdarstellung (Integration).

Mögliche primäre Dimensionen für die Integration der diskutierten Organisationsmethoden und Entwicklungsinstrumente in einer geschlossenen Darstellung sind der Zeitablauf (Phasen der Produktentstehung) oder organisatorische Einheiten (betriebliche Funktionen, beteiligte Unternehmen oder technische Fachdisziplinen). Bei der Wahl einer beliebigen Dimension als primäre Dimension sind die übrigen Dimensionen aufgrund ihrer praktischen Relevanz weiterhin sekundär zu berücksichtigen. Die Phasen der Produktentstehung erscheinen als primäre Dimension besonders geeignet, da diese sich für den Werkzeugmaschinenbau weitgehend allgemeingültig definieren lassen und für die Planung des Produktentstehungsprozesses von hoher Relevanz sind (vgl. Abschnitt 2.4).

²⁰⁸ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

7.2.1 Anwendung der Entwicklungsinstrumente im Werkzeugmaschinenbau

7.2.1.1 Interaktion im Entwicklungsteam

Die Unterscheidung zwischen synchronen und asynchronen Kommunikationsmedien hat im Kontext der auch im Werkzeugmaschinenbau zunehmend global verteilten Entwicklungszentren durch die Zeitzeonen-Problematik eine besonders hohe Bedeutung. Somit muss die Kommunikation der Standorte über Entfernungen notwendigerweise auf asynchronen Medien oder alternativ der Mobilität der Mitarbeiter beruhen.

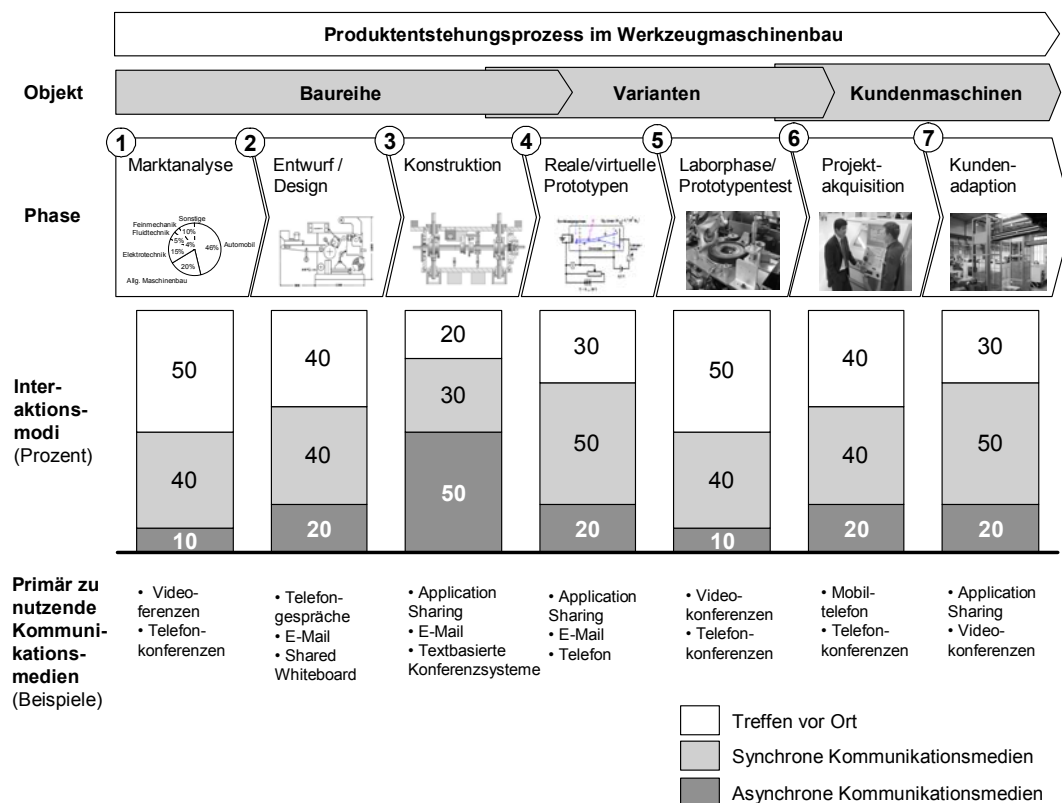


Abbildung 57: Team-Interaktion über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand²⁰⁹

Bei der Nutzung der Kommunikationsmedien über den Produktentstehungsprozess hinweg gelten einige Besonderheiten (vgl. Abbildung 57):

- **Präsenz vor Ort:** In den Phasen der Marktanalyse und der Labortests/Pilotkunden sind Treffen vor Ort besonders bedeutsam. Die Unsicherheit über mögliche Entwicklungshindernisse erfordert einen hohen Grad sozialer Präsenz. Unscharfe Informationen und gefühlsmäßige Einschätzungen lassen sich kaum

²⁰⁹ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

über Entfernungen kommunizieren, geben jedoch häufig wertvolle Hinweise auf Schwachstellen. Zudem kann es gerade in diesen beiden Phasen zu kurzfristigen Krisen kommen, die ein Krisenmanagement vor Ort erfordern. Lediglich Telefon- und Videokonferenzen können persönliche Treffen partiell substituieren, da zumindest die interaktive Teilnahme aller relevanten Ansprechpartner (im Gegensatz zu 1:1 Kommunikationskanälen) sichergestellt werden kann.

- **Asynchrone Kommunikationsmedien:** Obwohl asynchrone Kommunikationsmedien, insbesondere E-Mails, einen hohen Beliebtheitsgrad haben, eignen sie sich für die breite Anwendung nur in der Phase der Konstruktion. Hier sind die Rahmenbedingungen geklärt – auszutauschende Informationen lassen sich relativ leicht und eindeutig schriftlich in der jeweiligen Fachsprache formulieren. In allen anderen Phasen ist die asynchrone Kommunikation lediglich eine wertvolle Ergänzung.

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₁ : "Interaktion im Entwicklungsteam"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
1.1	Mobilität der Mitarbeiter	Versetzungen (Anzahl Mitarbeiter, Dauer), Dienstreisen (Anzahl Mitarbeiter, Dauer)	30%
1.2	Einsatz von synchronen Kommunikationsmedien	Häufigkeit der Nutzung der synchronen Kommunikationsmedien (Telefon, Telefonkonferenz, Videokonferenz, textbasierte Konferenzsysteme, Shared Whiteboard-Systeme, Application-Sharing-Systeme, etc.)	30%
1.3	Einsatz von asynchronen Kommunikationsmedien	Häufigkeit der Nutzung der asynchronen Kommunikationsmedien (E-Mail, Intranet-Foren, Fax, Anrufbeantworter, Post, etc.)	20%
1.4	Einheitliche Sprache	Technische Dokumentation (Anzahl Sprachen), Projektkommunikation (Anzahl Sprachen)	10%
1.5	Projektbesprechungen	Frequenz, Beteiligung	10%

7.2.1.2 Produktdatenmanagement

Insgesamt führt die rechnerintegrierte Entwicklung zur Erhöhung der Arbeitseffizienz und –qualität innerhalb der Entwicklung und verbessert die Möglichkeiten zur funktionsübergreifenden Interaktion erheblich. Ein dreidimensionales Modell erweist sich als wichtige Kommunikationshilfe zwischen Entwicklung und Marketing und die (teil-) automatische Generierung von Arbeitsplänen beschleunigt die Informationsweitergabe an die Arbeitsvorbereitung und Produktion. Das moderne Produktdatenmanagement vereinfacht zudem die verteilte Produktentwicklung – Voraussetzung dafür ist jedoch der direkte Schreib- und Lesezugriff auf alle Produktdaten in Echtzeit von jedem F&E-Standort aus. Dieser Aspekt ist insbeson-

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

dere zu beachten nach Unternehmenszusammenschlüssen, die in den letzten Jahren auch im Werkzeugmaschinenbau zugenommen haben. Eine gemeinsame Entwicklungs-IT-Plattform ist eine der unbedingten Voraussetzungen für eine effiziente standortübergreifende Entwicklungszusammenarbeit fusionierter Unternehmen.²¹⁰

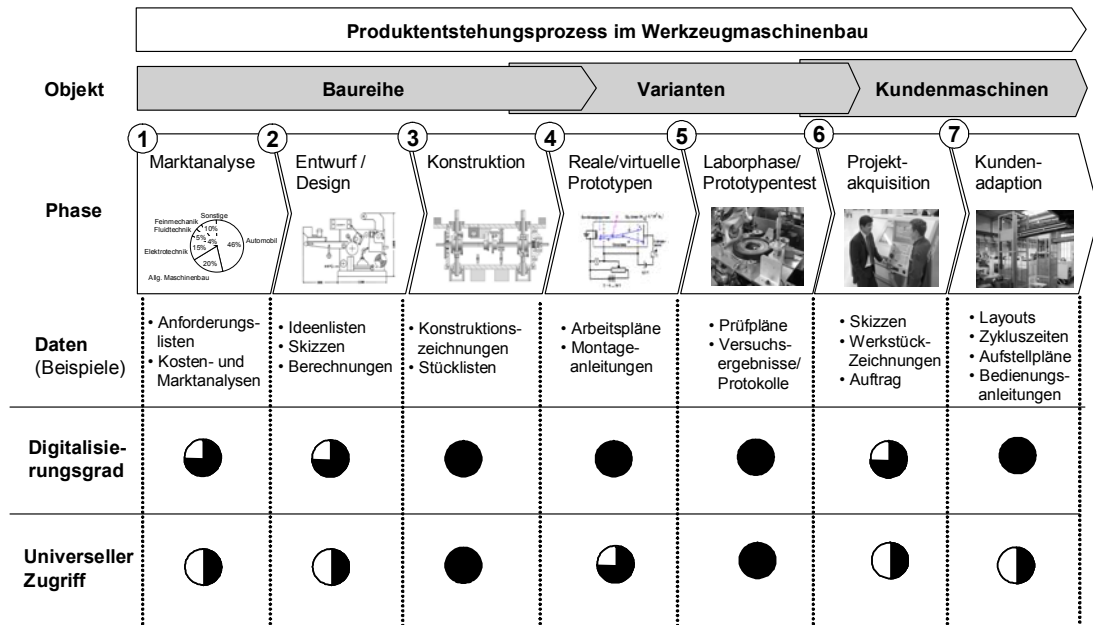


Abbildung 58: Produktdaten über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand²¹¹

Die nur partiell mögliche Digitalisierung und standortübergreifende (universelle) Verfügbarkeit von Daten aus den frühen Phasen der Entwicklung verdeutlicht Abbildung 58. Die Digitalisierung der Daten in einem über alle Standorte einheitlichen Datenformat, eine für alle Beteiligten verständliche Sprache und der universelle Zugriff sind wichtige Voraussetzungen für die kooperative und effiziente Bearbeitung gemeinsamen Materials. Digitalisierung und universeller Zugriff sind insbesondere bedeutsam für die Phasen der Konstruktion und die Testphase. In diesen beiden Phasen entsteht im hohen Umfang gut digitalisierbares Datenmaterial und es besteht ein hoher Modifikationsbedarf an Produktdaten. Gleichzeitig ist der Kreis der Mitarbeiter, die Produktdaten modifizieren und verwenden, besonders groß. Vergleichsweise geringer sind der umsetzbare Digitalisierungsgrad und auch der Nutzerkreis in den Phasen der Marktanalyse und des kundenspezifischen Engineering (Akquisition und Adaption).

²¹⁰ Vgl. Abele/Elzenheimer/Bundschuh, 2004.

²¹¹ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₂ : "Produktdatenmanagement"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
2.1	Einheitlichkeit des Produktdatenmanagements über Funktionsbereiche, Standorte, Produkttypen und Kunden	Aspekt der Produktdatenstrukturierung	25%
		Aspekt der IT-Infrastruktur (Soft- und Hardware)	25%
2.2	Universalität des Zugriffs auf Produktdaten von allen Standorten	Anforderungslisten	10%
		Produktdaten (insb. CAD)	20%
		Prozessdaten (insb. CAM)	20%

7.2.1.3 Entwicklungsunterstützende Instrumente

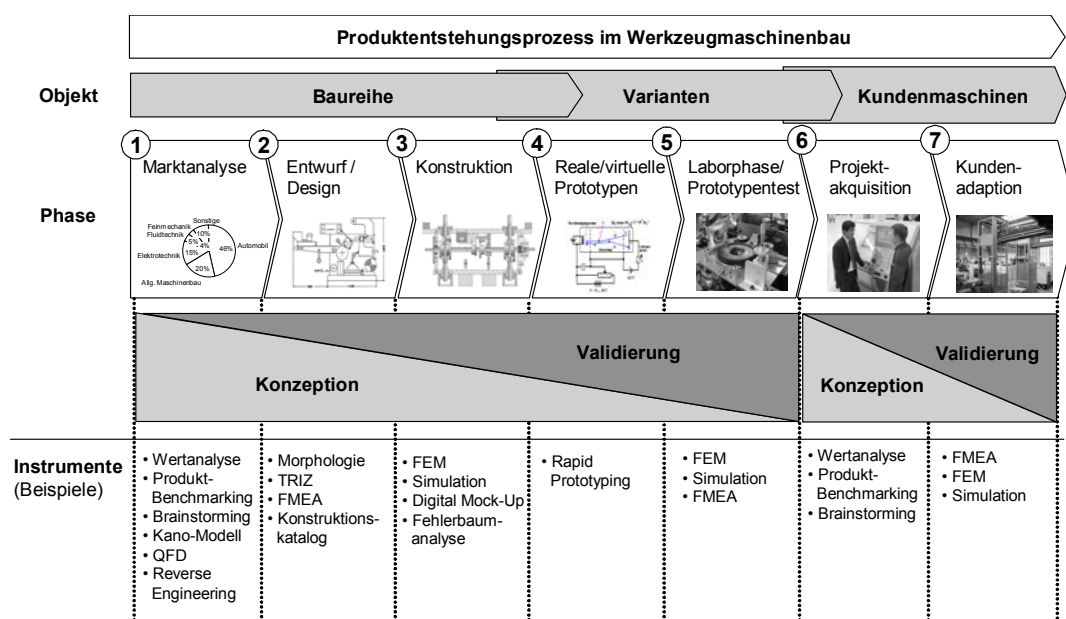


Abbildung 59: Einordnung der entwicklungsunterstützenden Instrumente über die Phasen des Produktentstehungsprozesses²¹²

Ausgehend von den Erörterung der entwicklungsunterstützenden Instrumente (Unterkapitel 3.6) lässt sich eine Einordnung in den Produktentstehungsprozess im Werkzeugmaschinenbau vornehmen. Der Zyklus von Konzeption und Validierung wird im Werkzeugmaschinenbau im Allgemeinen zwei Mal durchlaufen – damit sind auch die entsprechenden Instrumente mehrfach gefordert (vgl. Abbildung 59). Über die bereits diskutierten Instrumente hinaus sind einige weitere einschlägige Instrumente in der Abbildung dargestellt. Während die Instrumente zur Konzeption einer Maschine in hohem Maß untereinander substituierbar sind, ist die Auswahl der Validierungsinstrumente zum einen enger und die Instrumente sind kaum

²¹² Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

untereinander substituierbar. Alle Validierungsinstrumente haben das Ziel, die Validierung am realen Prototypen, die die Herstellungsphase und die Testphase umfasst, zeitlich zu verkürzen oder sogar zu ersetzen. Der Umfang einer möglichen Verkürzung ist abhängig vom Innovationsgrad der Maschine und dem Forschungsstand der zu implementierenden Fertigungstechnologien. Je erprobter die Fertigungstechnologie und die Maschinenbauweise sind, umso eher dürfte es gelingen, die Validierung der Konstruktion an realen Prototypen auf ein Minimum zu reduzieren.

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₃ : "Entwicklungsunterstützende Instrumente"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
3.1	Konzeptionsinstrumente (Kano-Modell, Konstruktionsskataloge, Life-Cycle-Costing, Morphologie, Produkt-Benchmarking, QFD, Reverse Engineering, TRIZ, Wertanalyse, etc.)	Anwendungsintensität	25%
		Anwendungsbreite	25%
3.2	Validierungsinstrumente (Digital Mock-Up, Fehlerbaumanalyse, FEM, FMEA, Hardware-in-the-Loop, Rapid Prototyping, Mehrkörper-Simulation, etc.)	Anwendungsintensität	25%
		Anwendungsbreite	25%

7.2.2 Anwendung der Organisationsmethoden im Werkzeugmaschinenbau

7.2.2.1 Projektorganisation

Es ist unbestritten, dass die Projektorganisation umso stärker die Stellung des Projektleiters begünstigen sollte, je strategisch bedeutsamer, innovativer, langfristiger, risikoreicher, dringlicher und komplexer das Projekt ist. Diese Indikatoren treffen vollumfänglich auf grundlegende Neuentwicklungen umsatzstarker Produkte bei technologieintensiven Unternehmen zu. Also sollten in der Praxis auch bei vielen Werkzeugmaschinen-Herstellern die (starke) Matrix-Organisation oder sogar die reine Projektorganisation vorherrschend sein. Tatsächlich trifft man teilweise Formen an, die am ehesten der schwachen Matrix-Organisation oder sogar nur der Stabs-Projektorganisation gleichen. Die Begründung dafür dürfte in folgenden Ursachen zu finden sein:

1. Die starke und dauerhafte Stellung der Linienmanager verhindert die Kompetenzübertragung an konkurrierende parallele Hierarchien.
2. Der erhöhte Organisationsaufwand von starken temporären Projektorganisationen (häufige Versetzungen und revidierte Stellenbeschreibungen) führt zu Widerständen bei den betroffenen Mitarbeitern.
3. Innerhalb der Funktionen findet die Generierung und Weitergabe von intangiblen (nur beschränkt dokumentierbarem) Wissen statt – somit gelten

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

die Funktionen als langfristige Wissensspeicher ("Projekte gehen, Funktionen bleiben").

Die beiden erstgenannten Ursachen sind zu beheben, wenn die Unternehmensleitung die richtige Priorisierung vornimmt und durchgängig kommuniziert. Das Management von intangibles Wissen lässt sich systematisch durch den Aufbau von Kompetenzzentren im Unternehmen mit langjährigen Experten und Wissensdatenbanken lösen.²¹³

Über die Phasen im Produktentstehungsprozess hinweg sind im Werkzeugmaschinenbau unterschiedliche Formen der Projektorganisation notwendig. Während die frühen Phasen der Marktanalyse und des Entwurfs noch relativ wenige Mitarbeiter umfassen und eher kreative Elemente enthalten, verlangt die Detaillierung der Baugruppen in der Konstruktion ein größeres Team und bietet vergleichsweise weniger Freiräume. An den kritischen Übergabepunkten zur Produktion und zum Vertrieb wird eine starke abteilungsübergreifende Projektleitung benötigt, um den reibungslosen Übergang sicherzustellen.

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₄ : "Projektorganisation"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
4.1	Eignung des Projektleiters	Management-Ebene (Team-Leiter, Gruppen-Leiter, Abteilungsleiter, Bereichsleiter, Geschäftsführer)	20%
		Qualifikation (Ausbildung, Erfahrung)	20%
4.2	Befugnisse des Projektleiters	Mitspracherecht bei Projektzieldefinition, Festlegung von Randbedingungen des Projekts, Projektbezogenes Entscheidungsrecht, Auswahl der Projektmitarbeiter, Verfügungsrecht über Projektbudget, Zugriffsrecht auf Informationen, Delegationsrecht von Aufgaben, Vertretungsrecht des Projekts nach außen	40%
4.3	Schnittstellendefinition	Klarheit der Schnittstellendefinition für die Arbeitsteilung (z.B. nach Modulen, Systemen, Technologien, Varianten, Kunden, Phasen)	20%

Eine Randbedingung für die Konfiguration der Formen der Projektorganisation über dem Produktentstehungsprozess ist die Gewährleistung eines Mindestmaßes an Kontinuität. Übermäßig große Umstellungen in der Projektorganisation können zu einer Überforderung und einem Mangel an Orientierung bei den Mitarbeitern führen. Die extremen Formen der Stabs-Projektorganisation und der reinen Pro-

²¹³ Vgl. z.B. zur Ermöglichung eines effektiven Wissensmanagements auch bei kleinen und mittleren Unternehmen: Abele/Kuhn/Liebeck, 2003.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

jektorganisation erscheinen zudem beide ungeeignet. Die Einführung innovativer Maschinen und Fertigungssysteme ist für das Fortbestehen des Unternehmens zu wichtig, um es an einen mit geringen Kompetenzen ausgestatteten Projektleiter zu delegieren. Auf der anderen Seite ist eine reine Projektorganisation für das langfristige Wissensmanagement in einem derartig wissensintensiven Umfeld nur schwer durchzusetzen. Somit wird es in der Regel ideal sein, in den ersten beiden Phasen eine schwache Matrix-Projektorganisation und anschließend eine starke Matrix-Projektorganisation zu installieren.

7.2.2.2 Zielkostenmanagement / Kostentransparenz

In der deutschen metallverarbeitenden Industrie wird nur bei etwa der Hälfte der Entwicklungsprojekte zu Beginn ein Kostenziel vorgegeben und Überschreitungen der Kostenziele in der Größenordnung 60% sind eher die Regel als die Ausnahme.²¹⁴ Die Umsetzungsdefizite sind weniger auf die Unkenntnis des Zielkosten – Ansatzes, sondern vielmehr auf die fehlende Konsequenz in der Umsetzung und den unzureichenden konkreten Bezug der Methodik zurückzuführen. Ein elementares Umsetzungshindernis stellt im Werkzeugmaschinenbau in einigen Fällen die geringe Anwendung von entwicklungsbegleitenden Kalkulationen (Vorkalkulationen) dar – es werden meist keine dedizierten unabhängigen Planungs- und Kalkulationsabteilungen eingerichtet. Erst bei Abschluss des Prototypen-Baus können verlässliche Aussagen zur Kostenverursachung getroffen werden. Die Akzeptanz von nur approximativen Kalkulationsmethoden mit einer für den jeweiligen Zweck hinreichenden Genauigkeit ist noch gering. Tatsächlich gibt es jedoch bereits Verfahren, die speziell für den Werkzeugmaschinenbau in hohem Maß geeignet sind und eine zufrieden stellende Genauigkeit erzielen.²¹⁵

Die genannten Umsetzungsbarrieren sollten jedoch in Zukunft aufgrund des steigenden Kostendrucks und der Professionalisierung des Managements überwunden werden. Selbst Hersteller, die technologisch Vorreiter sind und zu den weltweiten Marktführern in ihrem Bereich gehören, werden mittlerweile durch ihre Kunden über Marktmacht, sowie moderne Beschaffungsinstrumente wie elektronische "Reverse Auctions"²¹⁶ regelmäßig zu Preiszugeständnissen gezwungen. Falls es nicht gelingt, die Selbstkosten und damit die Herstellkosten zu kontrollieren, droht eine langfristige Erosion der Gewinnmargen.

²¹⁴ Vgl. Sanft, 1995, S. 23.

²¹⁵ Vgl. Sprengel, 2000, S. 54 ff.: Sprengel zeigt die hohe Eignung der drei Verfahren der 1. ABC-Analyse, 2. der (einfachen und multiplen sowie der linearen und der nicht-linearen) Regressionsrechnung, sowie 3. von NC-Simulationen für die Kostenfrüherkennung speziell im Werkzeugmaschinenbau auf.

²¹⁶ Vgl. VDMA, 2002.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

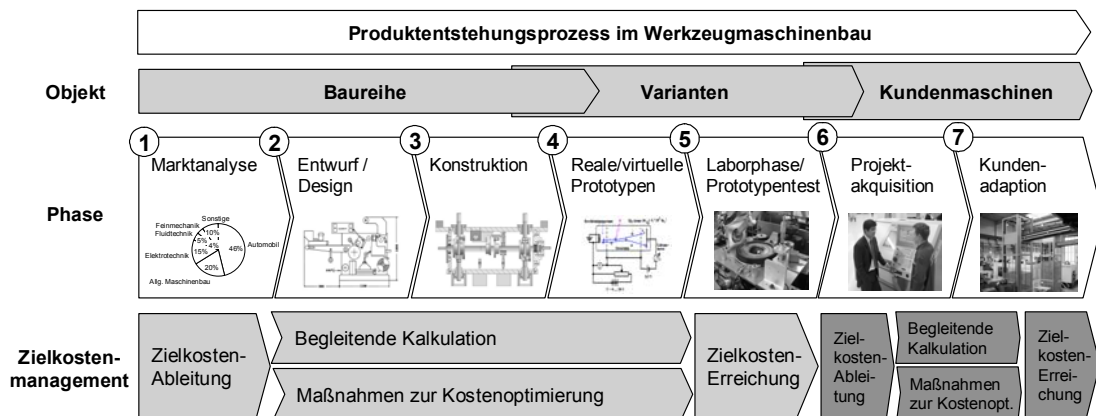


Abbildung 60: Zielkostenmanagement über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand²¹⁷

Dieser Entwicklung können die Werkzeugmaschinen-Hersteller begegnen, indem sie die Aktivitäten des Zielkostenmanagements organisatorisch in ihren Produktentstehungsprozess integrieren (vgl. Abbildung 60). Eine Besonderheit gegenüber anderen technischen Produkten besteht darin, dass der Zielkosten-Regelkreis zwei Mal durchlaufen werden muss:

1. Grundmaschine: Im Fokus liegen hier die Herstellkosten der noch nicht kundenspezifisch adaptierten Maschine.
2. Kundenauftrag: Hier geht es zusätzlich um die Optimierung der durch zusätzliche und modifizierte Module verursachten Herstellkosten und der gesamten Selbstkosten des Auftrags.

7.2.2.3 Quality Gates / Reifegrad-Transparenz

Gerade im Werkzeugmaschinenbau ist eine frühzeitige Absicherung der Qualität und Vollständigkeit technischer Konzepte notwendig, da in der Konstruktion verschiedene Disziplinen parallel arbeiten und zur Vermeidung von Änderungsschleifen auf einem einheitlichen Stand aufsetzen und synchronisiert werden sollten. Zudem ist die Systematik der Quality Gates hilfreich beim Controlling parallel laufender Maschinen-Entwicklungsprojekte, da die Aussagen über den Reifegrad (beispielsweise: Projekt 1 hat QG 2 erreicht, Projekt 2 steht kurz vor QG 4, Projekt 3 steht gerade vor QG 1) bei der Verwendung des identischen Referenzprozesses gut vergleichbar sind.

Ein mögliches Defizit der Quality Gates besteht in der Gefahr einer Verringerung der Flexibilität im Produktentstehungsprozess (Konzeptrevisionen bei neuen Erkenntnissen über Technologien oder Marktentwicklungen, Beschleunigung durch

²¹⁷ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Parallelisierung von Aktivitäten) und einer möglicherweise zu stark schematischen Vorgehensweise bei der Überprüfung von Leistungsvereinbarungen. Für relativ kurze und zu einem hohen Anteil einmalige Projekte kann der Zeitaufwand für die umfassende individuelle Detaillierung der Ergebniskriterien im Vorfeld zu hoch sein.

Die Quality Gates lassen sich in die vorgegebenen Phasen des Produktentstehungsprozesses direkt als Phasenstarts bzw. Phasenabschlüsse integrieren. Die eigentliche Herausforderung bei der Implementierung der Quality Gate – Systematik besteht in der Definition der

1. Entscheidungskriterien,
2. der Entscheidungspfade sowie
3. der ablauforganisatorischen Gestaltung.

Quality Gate	Entscheidungskriterien	Entscheidungspfade
Kick-off	1 <ul style="list-style-type: none"> -Indikation für Marktattraktivität -Komplementär zum bestehenden Produktspektrum 	<ul style="list-style-type: none"> -Projekt-Kick-off -Produktidee wird verschoben -Produktidee wird nicht umgesetzt
Pflichtenheft	2 <ul style="list-style-type: none"> -Klare Definition Ziel-Markt -Positionierung ggü. eigenen und Wettbewerber-Maschinen -Profitabilität 	<ul style="list-style-type: none"> -Fortführung Projekt -Modifikation Pflichtenheft -Wiedervorlage Pflichtenheft -Projektbeendigung
Entwurfsentscheid	3 <ul style="list-style-type: none"> -Valide Alternativen -Deckung mit Pflichtenheft -Erreichbarkeit Zielkosten (+/-15%) 	<ul style="list-style-type: none"> -Auswahl einer Alternative -Wiedervorlage weiterer Alternative -Projektbeendigung
Produktionsfreigabe	4 <ul style="list-style-type: none"> -Montage- und Fertigungs-Freigaben -Zielkosten-Nähe (+/-5%) 	<ul style="list-style-type: none"> -Fortführung Projekt -Modifikationen Konstruktion/Entwurf -Neu-Anlauf Konstruktion -Projektbeendigung
Prototyp	5 <ul style="list-style-type: none"> -Funktionsfähigkeit abgesichert -Zielkosten-Nähe (+/-2%) 	<ul style="list-style-type: none"> -Fortführung Projekt -Modifikationen Konstruktion/Entwurf -Neu-Anlauf Prototyp-Herstellung -Projektbeendigung
Verkaufs-freigabe	6 <ul style="list-style-type: none"> -Produktionsplanung serienreif -Dokumentation vollständig -Zielkosten erreicht (+/-1%) 	<ul style="list-style-type: none"> -Markteinführung und Start der Serienproduktion -Ergänzung Planung/Dokumentation -Projektbeendigung
Auftrag	7 <ul style="list-style-type: none"> -Kundenwunsch technisch umsetzbar -Genügende Profitabilität des Kundenprojekts voraussichtlich gegeben 	<ul style="list-style-type: none"> -Auftragsannahme -Vorschlag einer Auftragsänderung -Auftragsablehnung
Fertigungssystem	8 <ul style="list-style-type: none"> -Funktionsfähigkeit des kundenspezifischen Systems abgesichert -Kundenspezifische Schulung, Installation und Dokumentation abgeschlossen 	<ul style="list-style-type: none"> -Kundenabnahme -Nachbesserungen/Modifikationen -Rückabwicklung des Auftrags

Abbildung 61: Entscheidungskriterien und Entscheidungspfade an den Quality Gates: Idealisierte Darstellung²¹⁸

²¹⁸ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Die Entscheidungskriterien sind hier auf einer abstrakten Ebene skizziert (vgl. Abbildung 61), produkt- und unternehmensspezifisch muss aufbauend auf den generischen Bezeichnungen eine Detaillierung der Kriterien erfolgen. Beispielsweise gehört zum Quality Gate 6 (Verkaufsfreigabe) eine Checkliste mit direkt abprüfbar- en Punkten zur Funktionsfähigkeit der Maschine – dazu könnten unter anderem bestimmte vordefinierte Versuchsreihen, Werkstücke und Belastungstests gehören. Im dargestellten Vorschlag sind auch Kriterien zur Zielkostenerreichung in die Quality Gate-Definitionen eingegangen. Dies beweist, dass die Methodik keineswegs zwingend eindimensional sein muss. Die Entscheidungspfade an den einzelnen Gates bedürfen kaum noch einer weiteren Adaption – grundsätzlich entsprechen sie der "Ampel"-Logik mit allenfalls mehreren alternativen Pfaden für das Ampelsignal "Gelb".

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₅ : "Transparenz"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
5.1	Zielkostenmanagement/Kostentransparenz	Organisatorische Verankerung des Zielkostenmanagements	10%
		Frequenz der Berichterstattung des Kostenstands (Projektleiter/F&E-Leiter/Geschäftsführung)	25%
		Detaillierungsgrad der mitlaufenden Kostenkalkulation	15%
5.2	Quality Gates/Reifegradtransparenz	Organisatorische Verankerung der Quality Gates	10%
		Frequenz der Berichterstattung des technischen Reifegrads (Projektleiter/F&E-Leiter/Geschäftsführung)	25%
		Detaillierungsgrad der Berichterstattung zum technischen Reifegrad	15%

Die ablauforganisatorische Gestaltung hängt in hohem Maß von der Unternehmenskultur ab. Wenn, wie in den meisten Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus üblich, der Unternehmensinhaber die Geschicke des Unternehmens und strategische Projekte selbst bestimmt, bedeutet dies für die Implementierung der Quality Gates eine gewisse Umsetzungshürde. Schließlich stellt die Methode nicht nur für die Mitarbeiter des Entwicklungsprojekts eine fixe Richtschnur dar – auch die Entscheidungsträger selbst werden dazu angehalten, lediglich zu den Quality Gate-Review-Terminen Entscheidungen zu treffen und dies auch noch in einem Rahmen von vordefinierten Entscheidungspfaden. Die erwünschte Zunahme der Planbarkeit und Vorhersehbarkeit lässt sich jedoch nur erreichen, wenn die Entscheidungsträger tatsächlich eine partielle Verringerung ihres Entscheidungsspielraums zulassen.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

7.2.2.4 Concurrent Engineering / Kollaboration

Grundsätzlich ist das Concurrent Engineering im Werkzeugmaschinenbau ähnlich bedeutsam wie in anderen Branchen, etwa der Automobilindustrie, der Unterhaltungselektronik oder dem Konsumgüterbereich. Branchen- und unternehmensindividuell ist jedoch immer zu klären, welche Arbeitsbereiche tatsächlich parallel oder überlappend gestaltet werden können und welche Funktionsbereiche sinnvollerweise in bestimmten Entwicklungsphasen partizipieren. Kann beispielsweise der Steuerungsalgorithmus einer Universal-Drehmaschine parallel mit der Spindel-Kühlung entwickelt werden? Können Fertigungs- und Montagearbeitspläne unabhängig voneinander definiert werden?

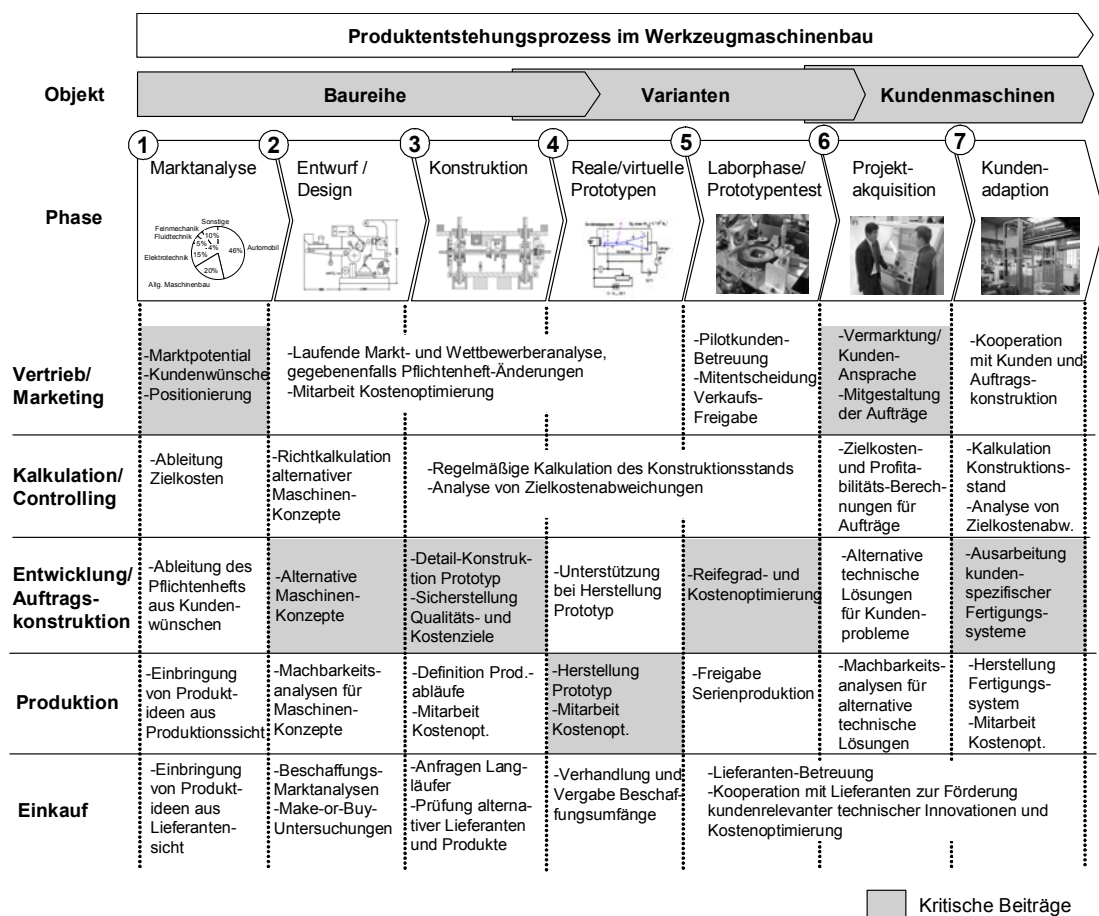


Abbildung 62: Concurrent Engineering über die Phasen des Produktentstehungsprozesses: Idealer Soll-Zustand²¹⁹

Die Fragen machen deutlich, dass auch im Werkzeugmaschinenbau nicht ein Maximum, sondern das richtige Maß an Concurrent Engineering angestrebt werden muss. Nicht alle Vorgänge sind parallelisierbar oder überlappend durchführbar

²¹⁹ Eigene Darstellung.

und nicht alle Funktionsbereiche müssen in allen Phasen gleich intensiv eingebunden sein. Anders als in der Automobilindustrie ist im Werkzeugmaschinenbau beispielsweise eine Involvierung der Lieferanten in frühen Entwicklungsphasen aufgrund der höheren Standardisierung von zugelieferten Komponenten (Spindeln, Steuerungen, etc.) tendenziell weniger wichtig. Zudem sind die zusätzlichen Kosten für die Beschleunigung der Entwicklung durch den erhöhten Kommunikationsaufwand zwischen den Fachabteilungen (führt eventuell zu "Sitzungsmarathons") und potenzielle Mehrarbeit bei der Nachpflege von Änderungen in Kosten-/Nutzen-Abwägungen zu berücksichtigen.

Trotz des Bedarfs von unternehmens- und produktindividuellen Vorgaben für die Mitarbeit der verschiedenen betrieblichen Funktionen lässt sich dennoch aus den Notwendigkeiten im Werkzeugmaschinenbau ein Vorschlag ableiten (vgl. Abbildung 62). Dieser kann eine Diskussionsgrundlage bilden für einen individuellen Ansatz, der letztlich in einem Entwicklungshandbuch komprimiert und verbindlich festgelegt werden sollte. In dem hier dargestellten Vorschlag sind die Aktivitäten des Zielkostenmanagements beinhaltet. Die Beiträge der betrieblichen Funktionen Vertrieb/Marketing, Kalkulation/Controlling, Entwicklung/Auftragskonstruktion, Produktion und Einkauf sind den einzelnen Phasen zugeordnet. Es zeigt sich, dass grundsätzlich jede betriebliche Funktion in jeder Phase eine originäre Aufgabe hat.

Die Quality Gates können in Verbindung mit den Grundgedanken des Concurrent Engineering genutzt werden, um die Beiträge der betrieblichen Funktionen vorzudefinieren und einzufordern. Dazu ist es lediglich notwendig, Quality Gate-Kriterien nicht nur funktionsübergreifend (vgl. vorhergehender Abschnitt), sondern auch funktionsbezogen vorzugeben. Beispielsweise sollten für die Beschreibung des Marktpotentials durch Vertrieb und Marketing bestimmte Analyseschritte und zu präsentierende Erkenntnisse vordefiniert werden (Marktanteile der Wettbewerber, ABC-Analyse potenzieller Kunden, Verkaufskonditionen und Leistungsdaten von Wettbewerbern, etc.). Ein weiteres Beispiel wäre eine Checkliste für die Erfüllung technischer und kaufmännischer Kriterien durch die Entwicklungs-Abteilung zum Abschluss der Labortest/Pilotkunden-Phase.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Bewertungsparameter zum Erfolgsfaktor E ₆ : "Kollaboration"			
Nr.	Parameter	Primärdaten	Gewichtung
6.1	Einbindung Vertrieb/Kunden	Intensität und Frequenz des Informationsaustausches in den Entwicklungsphasen Ideenfindung/Konzeption/Komponentenentwicklung/Systemintegration/Produktionsreife	50%
6.2	Einbindung Produktion	Intensität und Frequenz des Informationsaustausches in den Entwicklungsphasen Ideenfindung/Konzeption/Komponentenentwicklung/Systemintegration/Produktionsreife	25%
6.3	Einbindung Einkauf/Lieferanten	Intensität und Frequenz des Informationsaustausches in den Entwicklungsphasen Ideenfindung/Konzeption/Komponentenentwicklung/Systemintegration/Produktionsreife	25%

7.2.3 Anforderungen an die Erfolgsfaktor-Ausprägungen

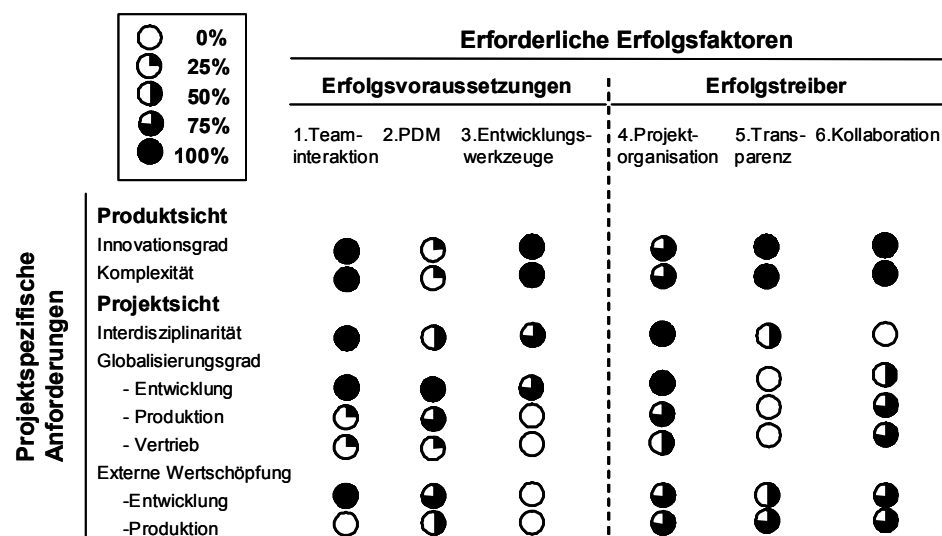


Abbildung 63: Anforderungsmatrix ($E_{ij,ANF}$): Ableitung der erforderlichen Ausprägungen der Erfolgsfaktoren²²⁰

Nachdem im integrierten Erfolgsfaktorenmodell bereits die Bewertungsdimensionen und Gewichtungen der Bewertungsparameter bestimmt wurden, ist bislang die Ausgestaltung der Anforderungsmatrix (vgl. S. 106) noch offen geblieben. Dazu sind Hypothesen abzuleiten über den positiven Beitrag der Erfolgsfaktoren i zur Bewältigung der projektspezifischen Anforderungen j . Letztere lassen sich kategorisieren in den Innovations- und Komplexitätsgrad (Produktsicht), sowie die In-

²²⁰ Eigene Darstellung.

7 Ganzheitlicher methodischer Ansatz zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

terdisziplinarität, den Globalisierungsgrad und die externe Wertschöpfung (Projektsicht). Abgeleitet aus den in den Unterkapiteln 3.4 bis 3.6, sowie den Abschnitten 7.2.1 und 7.2.2 dargestellten Eigenschaften der Erfolgsfaktoren kann eine Anforderungsmatrix näherungsweise bestimmt werden (vgl. Abbildung 63).

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

8.1 Zielsetzungs- und Vorbereitungsphase

Der im vorangegangenen Kapitel vorgestellte Benchmarking-Ansatz wurde im Rahmen von drei Fallstudien auf seine Plausibilität und Konsistenz hin getestet. Mitarbeiter der Werkzeugmaschinen-Hersteller EMAG Maschinenfabrik GmbH, der Gildemeister AG und der Trumpf GmbH & Co. KG AG haben sich freundlicherweise für eine Begleitung der Arbeit zur Verfügung gestellt. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang (Abschnitte 10.6 bis 10.8) dargestellt.

Bei der Ableitung unternehmensspezifischer Implikationen sind zwei wesentliche Einschränkungen zu treffen:

- a) Eine externe Analyse kann immer nur partiell interne Sachverhalten erörtern und
- b) Interviewpartner sind möglicherweise geneigt, ihr Unternehmen in einem überaus positiven Licht darzustellen.

Einzig die öffentlich verfügbaren und von Wirtschaftsprüfern testierten Informationen z.B. über Umsatzentwicklungen und Profitabilität können ein weitgehend objektives Bild von der Erfüllung von Erfolgsindikatoren für Entwicklungsprozesse abgeben (vgl. Tabelle 11 im Anhang, S. 138). Das Umsatzwachstum der drei betrachteten Unternehmen hat in den letzten Jahren durchgängig und deutlich das durchschnittliche Wachstum der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie übertroffen – offensichtlich ist es also allen drei Herstellern gelungen, überdurchschnittlich erfolgreiche innovative Produkte zu entwickeln und an ihren globalen Kundenkreis abzusetzen.

Wie ein aktuelles Ranking der weltweit umsatzstärksten Werkzeugmaschinen-Hersteller zeigt, bewegen sich alle drei Unternehmen im Bereich der globalen Top-20-Hersteller (vgl. Abbildung 70 im Anhang, S. 138). Trotz der geringen Anzahl der Fallstudien und dem Fokus auf deutsche Unternehmen ist zu erwarten, dass zumindest indikative, wenn auch nicht repräsentative, Schlussfolgerungen aus den Analysen gezogen werden können.

Die drei befragten Unternehmen unterscheiden sich sowohl in Bezug auf die primär angebotenen Maschinen, als auch in Bezug auf ihren Kundenkreis. Gemeinsam ist allen drei Unternehmen ein hoher Grad an Globalisierung in Bezug

auf Entwicklung, Produktion und Absatz, sowie eine hohe Innovationskraft und Marktdurchdringung.

8.2 Vergleichsphase

8.2.1 Laserschneidmaschine²²¹

8.2.1.1 Vorstellung des Herstellers

Die Trumpf-Gruppe, die als Familienunternehmen geführt wird, erzielte mit weltweit knapp 6.000 Mitarbeitern im Geschäftsjahr 2003/04 einen Umsatz von ca. 1,2 Mrd. EUR in den vier Geschäftsbereichen Werkzeugmaschinen, Lasertechnik, Elektrowerkzeuge und Elektronik/Medizintechnik. Die Werkzeugmaschinen waren im abgelaufenen Geschäftsjahr mit 65% der umsatzstärkste Geschäftsbereich mit Fertigungstechnologien zur Laserbearbeitung, zum Stanzen und zum Biegen. Der Umsatz wurde zu ca. 35% in Deutschland erzielt, weitere 35% im übrigen Europa und die übrigen 30% überwiegend in den USA und in Asien. Außerhalb Deutschlands hat Trumpf Tochtergesellschaften mit Entwicklungs- und Produktionskapazitäten in den USA, Frankreich, Österreich, der Schweiz und Taiwan sowie Vertriebsniederlassungen in knapp 50 Ländern (vgl. Abbildung 71 im Anhang, S. 139). Trumpf investiert jährlich ca. 8% des Umsatzes in die Forschung und Entwicklung.

Die Trumpf-Gruppe betreibt weltweit mit ca. 750 Mitarbeitern an 13 Standorten Forschung und Entwicklung. Etwa 80% der F&E-Mitarbeiter sind in Deutschland angestellt. Im Geschäftsbereich Lasertechnik gibt es Entwicklungsstandorte in den USA und in der Schweiz, im Geschäftsbereich Werkzeugmaschinen zusätzlich auch in Österreich und in Taiwan.

8.2.1.2 Beispiel eines Entwicklungsprojekts

Im Sommer 2002 begann Trumpf die Entwicklung einer vollständig neuen Laserschneidmaschine primär für den US-Markt in einer Kooperation der drei Standorte Farmington (US), Ditzingen bei Stuttgart (D) und Neukirch in Sachsen (D) mit insgesamt knapp 50 Entwicklern. Die Besonderheiten der TRUMATIC L 2510 bestehen in der integrierten platzsparenden Be- und Entladeautomatisierung (vgl. Abbildung 74 im Anhang, S. 141) und im Einsatz des diffusionsgekühlten CO₂-Hochleistungslasers TCF 1, der mit seiner innovativen koaxialen Elektrodenanordnung eine kompakte Bauweise, niedrige Betriebskosten und geringen War-

²²¹ Quellen: Gespräch mit Herrn Friedrich Kilian, Vorstand Forschung & Entwicklung / Herrn Martin Lober, Pressereferent Werkzeugmaschinen / Herrn Detlef Breitling, Referent Geschäftsleitung Forschung und Entwicklung, Trumpf Gruppe (am 27. Juni 2005 in Ditzingen), ergänzend: Trumpf Geschäftsbericht 2004.

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

tungsaufwand ermöglicht. Eine weitere Neuheit besteht darin, dass ein einziger Motor für den Antrieb sowohl der Automatisierungs-, als auch der Führungseinheit eingesetzt wird. Zudem ist das Maschinenkonzept auf einfache Bedienbarkeit mit geringem Schulungsaufwand ausgelegt.

Federführend in der Entwicklung war der Standort Farmington, der den Laser, die Führungseinheit, den Rahmen, sowie das Automatisierungs- und Gesamtkonzept entwickelte. Zudem wurden über den Standort Farmington amerikanische Schlüsselnkunden in die Konzeptionsphase eingebunden. Der Standort Ditzingen brachte den Auflagetisch, sowie die Maschinenverkleidung ein. Darüber hinaus sorgten die Mitarbeiter aus Ditzingen für die Einhaltung des standardisierten Entwicklungsprozesses und die Dokumentation (Management der Produktdaten, Handbücher, etc.). In Neukirch wurde die neuartige Automatisierungseinheit entwickelt und gefertigt.

Die Entwicklung der TRUMATIC L 2510 wurde innerhalb von nur 18 Monaten abgeschlossen. Der erste Prototyp, der aus den Baugruppen von drei Standorten montiert wurde, war auf Anhieb voll funktionsfähig. Der Auftragseingang war mit unerwartet vielen Bestellungen auch außerhalb der USA weit über Plan.

8.2.2 Universaldrehmaschine²²²

8.2.2.1 Vorstellung des Herstellers

Die börsennotierte Gildemeister AG (DMG) entwickelt und produziert Fräsmaschinen (in 2004 ca. 430 Mill. EUR Umsatz), Drehmaschinen (ca. 300 Mill. EUR) sowie Laser- und Ultrasonic-Werkzeugmaschinen (ca. 20 Mill. EUR). Zusätzlich wurden im Jahr 2004 durch Dienstleistungen ca. 310 Mill. EUR Umsatz erzielt.

Gildemeister betreibt zur Zeit 11 Produktionsstandorte in Deutschland, Italien, Polen und China und 57 konzerneigene Service- und Vertriebsgesellschaften in 32 Ländern und hat insgesamt ca. 5.200 Mitarbeitern (vgl. Abbildung 72 im Anhang, S. 139). Der Kundenkreis ist zu ca. 80% in Europa (45% Deutschland), die Auftragseingänge aus Asien (ca. 10%) und Amerika (ca. 10%) sollen innerhalb der nächsten 5-10 Jahre erheblich gesteigert werden.

Im Geschäftsjahr 2004 wurden 16 Maschinen entwickelt, die Produkte im aktuellen Lieferprogramm sind zu rund zwei Drittel jünger als drei Jahre. DMG betreibt an insgesamt 6 Standorten mit ca. 400 Mitarbeitern und einem Budget von ca. 40 Mill. EUR Entwicklungsaktivitäten: Drehmaschinen werden in Bielefeld (ca. 70

²²² Quellen: Gespräch mit Dr. Thorsten Lasch, Zentrale Entwicklungskoordination, Gildemeister AG (Seebach, 9. Mai 2005), ergänzend: Gildemeister AG, 2005; Lieferkatalog Gildemeister I/2005.

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

MA), in Tortona (ca. 80 MA) und Brembate, Italien (ca. 80 MA) entwickelt, Fräsmaschinen in Pfronten (ca. 90 MA) und Seebach (ca. 70 MA) und Laser-, sowie Ultrasonic-Maschinen in Idar-Oberstein (ca. 15 MA). Die Standorte außerhalb von Bielefeld sind alle durch Akquisitionen zur Gildemeister AG gekommen.

8.2.2.2 Beispiel eines Entwicklungsprojekts

Näher betrachtet wird die Entwicklung der CNC-Universaldrehmaschinen-Reihe CTX 10, die 2003/2004 in Kooperation der Standorte Bielefeld, Tortona (Italien) und Pleszew (Polen) durchgeführt wurde (vgl. Abbildung 75 im Anhang, S. 141).

Die Maschinen sollten ein sehr gutes Preis-/Leistungs-Verhältnis haben (Verkaufspreis des kleinsten Modells ab ca. 50.000 EUR) und drei bis fünf Jahre am Markt angeboten werden. Elektrische und elektronische Bauelemente machen ca. 50% der Herstellkosten und ca. 30% der Entwicklungskosten aus. Ziel bei der Entwicklung war es, durch die maximale Nutzung von Gleichteilen den Kunden zusätzliche Funktionalitäten bei gleichzeitig geringeren Kosten zur Verfügung zu stellen. Es wurden sowohl gleiche Teile über die vier Varianten hinweg verwendet (z.B. Schaltschrank, Werkzeugträger, Kühlschmiermittelanlagen, Hydraulik), als auch identische Teile mehrfach innerhalb derselben Maschinen genutzt (z.B. Gestellbauteile, Schlitteneinheiten). Ein hoher Anteil an Gleichteilen sollte Kosteneinsparungen im Materialeinkauf, in der Produktion und in der Entwicklung bewirken. Die Entwicklung setzte auf vorhandenen Maschinen auf, deren Aufbau und Funktionalitäten vereinheitlicht wurden. Somit lag die Herausforderung nicht in der Verfahrens-Innovation, sondern in der Integration und Komplexitätsreduktion.

Die Entwicklung nahm ca. 12 Monate in Anspruch, es arbeiteten 6 Entwicklungs-Mitarbeiter aus Bielefeld, 3 Mitarbeiter aus Tortona (Italien) und 3 Mitarbeiter aus Pleszew (Polen) vollzeitig daran. Die Verteilung auf drei Standorte war notwendig, um die technologischen Kompetenzen und die Kapazitäten der Mitarbeiter optimal auszunutzen.

Die Entwicklung wurde innerhalb der vorgesehenen Zeit abgeschlossen, die Ziele in Bezug auf das Pflichtenheft, sowie die Zielproduktkosten und die Zielentwicklungskosten wurden eingehalten. Die Annahme der neuen CTX 10er Reihe am Markt übertraf die Erwartungen. Wie der Geschäftsbericht 2004 vermerkt, konnte die CTX 10er Baureihe zudem durch das Gleichteilekonzept, Zusatzfunktionalitäten und technische Entfeinerungen ihren Ergebnisbeitrag steigern.²²³

²²³ Vgl. Geschäftsbericht der Gildemeister AG 2004, S. 89.

8.2.3 Bearbeitungszentrum²²⁴

8.2.3.1 Vorstellung des Herstellers

Die im Privatbesitz befindliche EMAG Maschinenfabrik GmbH entwickelt und produziert kundenspezifische Fertigungslösungen mit einem Jahresumsatz von ca. 350 Mio. EUR und etwa 1.900 Mitarbeitern weltweit (vgl. Abbildung 73). Den Schwerpunkt bilden dabei die hoch automatisierte Dreh-, Schleif- und Frästechnologie und die Automobilindustrie als Maschinenanwender. Etwa zwei Drittel des Entwicklungsaufwands der EMAG fließt in das Customizing kundenspezifischer Maschinen (vgl. Abbildung 73 im Anhang, S. 140). Zum Customizing zählen insbesondere die Verkettung des Materialflusses, spezifische Fertigungstechnologien (Werkzeuge, Spannvorrichtungen) und die Erfüllung kundenspezifischer Vorschriften (Kühlschmiermittelkreislauf, Steuerungen, Sicherheitsvorschriften, etc.).

Die EMAG ist gegliedert in aktuell 8 Technologie-, 20 Markt- und 2 Produktionsunternehmen. Die Technologie-Unternehmen entwickeln Grundmaschinen und passen diese an die Kundenanforderungen an ("Engineering"). Die Marktunternehmen sind zuständig für Kunden in bestimmten Regionen und Ländern und übernehmen die Akquisition und Betreuung der Kunden vor Ort. Die Produktionsunternehmen produzieren zentral alle Grundmaschinen für die Unternehmen der EMAG-Gruppe und nutzen damit Skaleneffekte.

8.2.3.2 Beispiel eines Entwicklungsprojekts

Eines der aktuellsten Entwicklungsprojekte ist die VLC 400 MT. Dabei handelt es sich um ein Pickup-Zentrum für die kombinierte Dreh- und Fräsbearbeitung von kubischen und rotationssymmetrischen Futterteilen (weitere mögliche Verfahren: Tieflochbohren, Reiben, Schleifen, Gewinden, Messen im Prozess, vgl. Abbildung 76 im Anhang, S. 142). Wichtigste Zielgruppen sind Automobilzulieferer und Unternehmen aus der Fluidik (z.B. Pneumatik- und Hydraulik-Ventile). Es wurde von Beginn an nicht spezifisch für eine Weltregion, sondern für die Bedürfnisse von Anwendern aus den genannten Industrien und Kundengruppen entwickelt. Wie üblich bei der EMAG, wurde nicht eine Standard-Lösung, sondern eine Grundmaschine entwickelt, die flexibel an unterschiedliche Kundenbedürfnisse adaptierbar ist.

²²⁴ Quellen: Gespräch mit Herrn Christoph Wernz, Abteilungsleiter Forschung & Entwicklung EMAG Reinecker Karstens Technologie GmbH (Salach, 7. Oktober 2005), ergänzend: Unternehmensprospekte, Produktbroschüren, Sonderheft Maschine + Werkzeug: "50 Jahre EMAG in Baden-Württemberg".

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Besonderheiten der VLC 400 MT sind die Möglichkeiten der Komplettbearbeitung in einer Aufspannung, der flexiblen Anpassung an unterschiedliche Fertigungsaufgaben und das automatische Werkstückhandling vom Speicherband zum montagefertigen Werkstück. Damit ist die Maschine gut geeignet für mittlere Losgrößen (20 bis 100 Stück), komplexe Mehrtechnologiebearbeitung (z.B. Pumpengehäuse) und hohe Präzisionsanforderungen.

In die Entwicklung eingebunden wurden zusätzlich zur Entwicklungsabteilung in Salach (4 Mitarbeiter) Mitarbeiter von EMAG-Standorten in Zerbst und Leipzig (je 1 Mitarbeiter), sowie ein externes Konstruktionsbüro (6 Mitarbeiter). Die Entwicklung der VLC 400 MT begann im Juli 2004 und die Maschine wurde im September 2005 auf der internationalen Werkzeugmaschinen-Messe EMO in Hannover vorgestellt. Bereits vor der offiziellen Vorstellung war das Interesse der Kunden an dem innovativen kombinierten und verketteten Maschinenkonzept sehr groß.

8.3 Umsetzungsphase

Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse wird in einer anonymisierten und konzentrierten Form dargestellt.

8.3.1 Fallstudie 1

Im approximativen Vergleich zwischen Projektrelevanz und Steigerungspotenzial (vgl. Abbildung 64) wird deutlich, wie es gelang, den Erfolg der Maschine in den Dimensionen Entwicklungszeit, Markterfolg und vermutlich auch Profitabilität sicherzustellen. Insgesamt sind die Steigerungspotenziale bei denjenigen Bewertungsparametern von hoher Projektrelevanz relativ gering. Mögliche signifikante Optimierungspotenziale sind lediglich in den Bereichen "Entwicklungswerkzeuge" (3.1) und "Team-Interaktion" (1.2) zu finden. Bei den Entwicklungswerkzeugen wurden im Vergleich zu anderen betrachteten Projekten nur in einem mittleren Umfang Wettbewerbervergleiche herangezogen und digitale Prototypen verwendet. Für die Kommunikation im Team wurde vergleichsweise weniger Gebrauch gemacht von internet- und intranetgestützten Kommunikationskanälen, wie beispielsweise Shared-Whiteboard-Systeme und Application-Sharing.

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

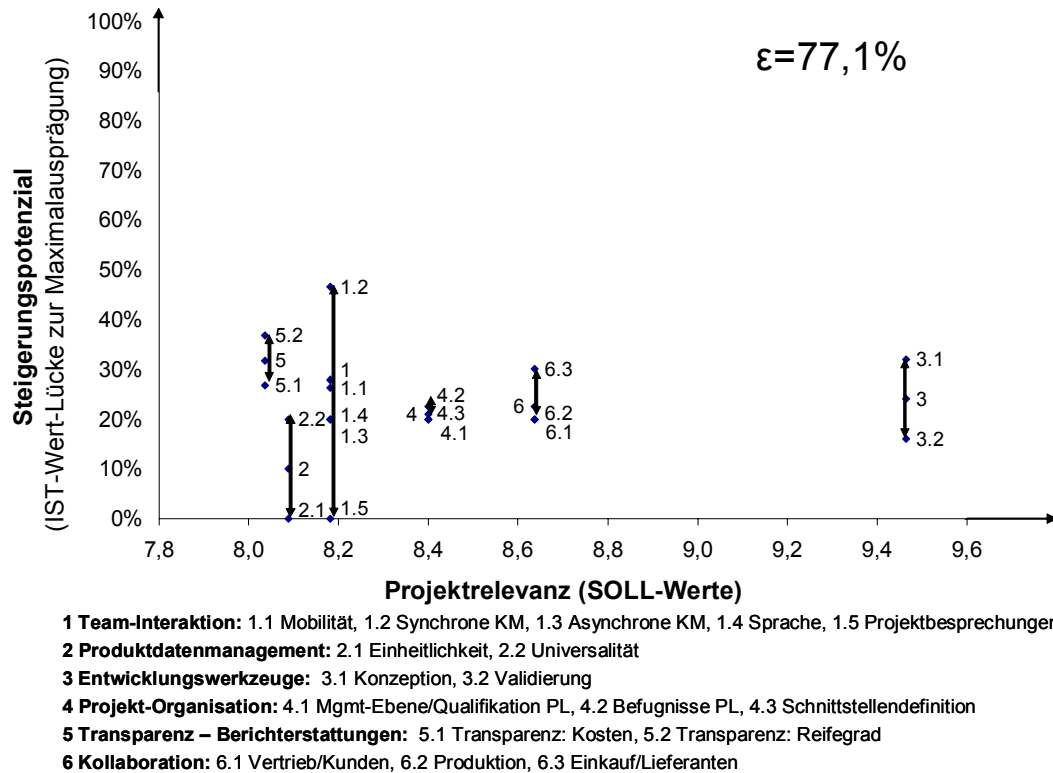


Abbildung 64: Auswertung Fallstudie 1: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren²²⁵

8.3.2 Fallstudie 2

Bei der approximativen Gegenüberstellung von Steigerungspotenzial und Projektrelevanz (vgl. Abbildung 65) zeigt sich, daß die Bewertungsmerkmale primär in den Bereichen mit geringerer Relevanz Steigerungspotenziale aufweisen. Signifikante Verbesserungspotenziale können allenfalls in den Dimensionen Produktdatenmanagement (2.1 und 2.2) und Projektorganisation (insbesondere 4.1) gesehen werden. Im Produktdatenmanagement sind bereits Schritte zur Optimierung angestoßen worden durch die schrittweise Implementierung einer einheitlich gültigen Software-Plattform; eine weitere mögliche Verbesserung wäre die Echtzeit-Synchronisierung anstelle einer täglichen Daten-Synchronisierung über die Standorte hinweg.

In der Projektorganisation setzt das Unternehmen weniger hierarchisch hoch stehende Projektleiter ein und verleiht ihnen in einigen Teilbereichen weniger starke Befugnisse im Vergleich zu den anderen analysierten Unternehmen. Mit größeren

²²⁵ Eigene Darstellung.

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

Kompetenzen und einem umfangreicheren Erfahrungsschatz auch in der Führung von Mitarbeitern ausgestattete Projektleiter würden dazu beitragen, die Herausforderungen der standortübergreifenden Leitung von Entwicklungsprojekten noch besser zu bewältigen.

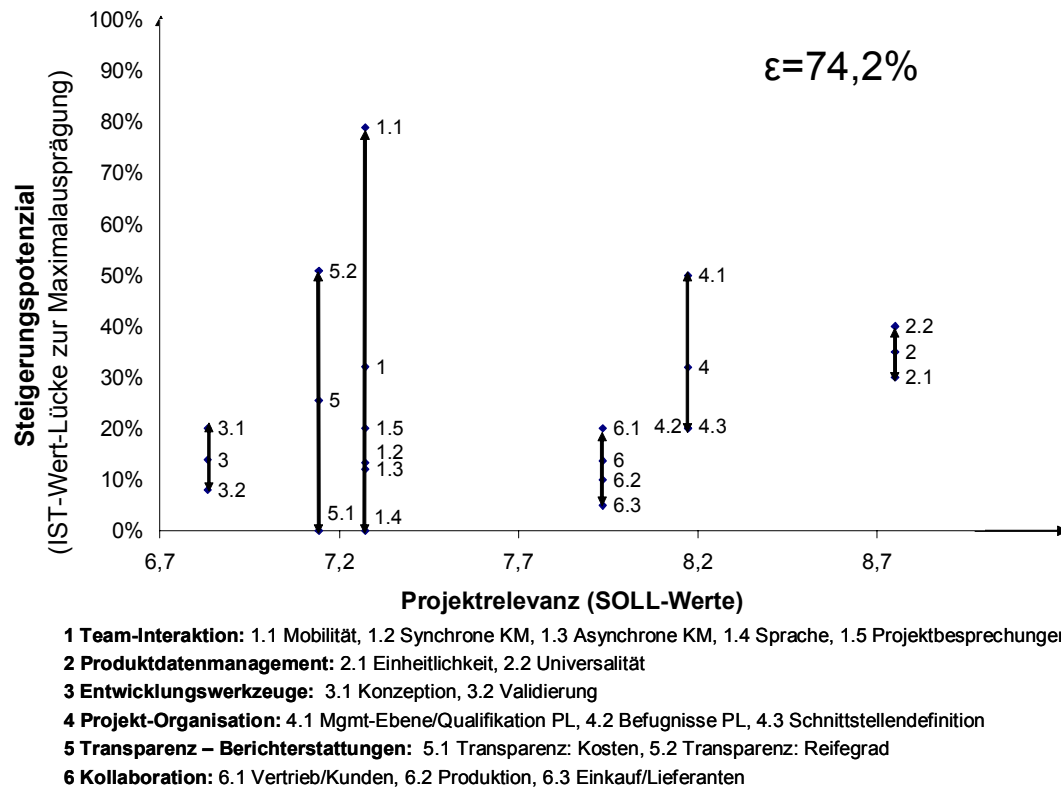


Abbildung 65: Auswertung Fallstudie 2: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren²²⁶

8.3.3 Fallstudie 3

Auch in der dritten Fallstudie haben insgesamt die Bereiche mit hoher Projektrelevanz nur in geringem Umfang Steigerungspotenziale. In den Bereichen des Produktdatenmanagements (2.), sowie der Kollaboration über Funktions- und Unternehmensgrenzen hinweg (6.) schneidet der Entwicklungsprozess sogar besser ab als in der normativen Ableitung postuliert.

Verbesserungspotenziale können in den beiden Bereichen Team-Interaktion (insbesondere 1.1) und Transparenz (insbesondere 5.1) identifiziert werden. Physische Treffen, die besonders für technische Diskussionen wichtig sind, fanden in recht langen Zyklen und in einem relativ kleinen Kreis statt. Zusätzlich könnten sie zu-

²²⁶ Eigene Darstellung.

8 Anwendung des methodischen Ansatzes zum Benchmarking von Produktentstehungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

dem stärker um Kommunikationsmedien, wie Telefon- und Videokonferenzen und Instrumente der Personalpolitik, wie kurzfristige Versetzungen, ergänzt werden. Die Transparenz über den Stand der Produktkosten basierend auf dem Entwicklungsstand könnte stärker forciert werden. Um dies zu erreichen, könnte die mitlaufende Kalkulation personell gestärkt und das Know-how über die Auswirkungen technischer Änderungen auf Kosten (z.B. Kostenwachstumsgesetze, Skaleneffekte) in der Konstruktion erhöht werden. Die Verfolgung des Zielkosten-Regelkreises im Rahmen der Quality Gates im Produktentstehungsprozess wäre eine Möglichkeit, das zielkostenorientierte Konstruieren ablauforganisatorisch zu verankern.

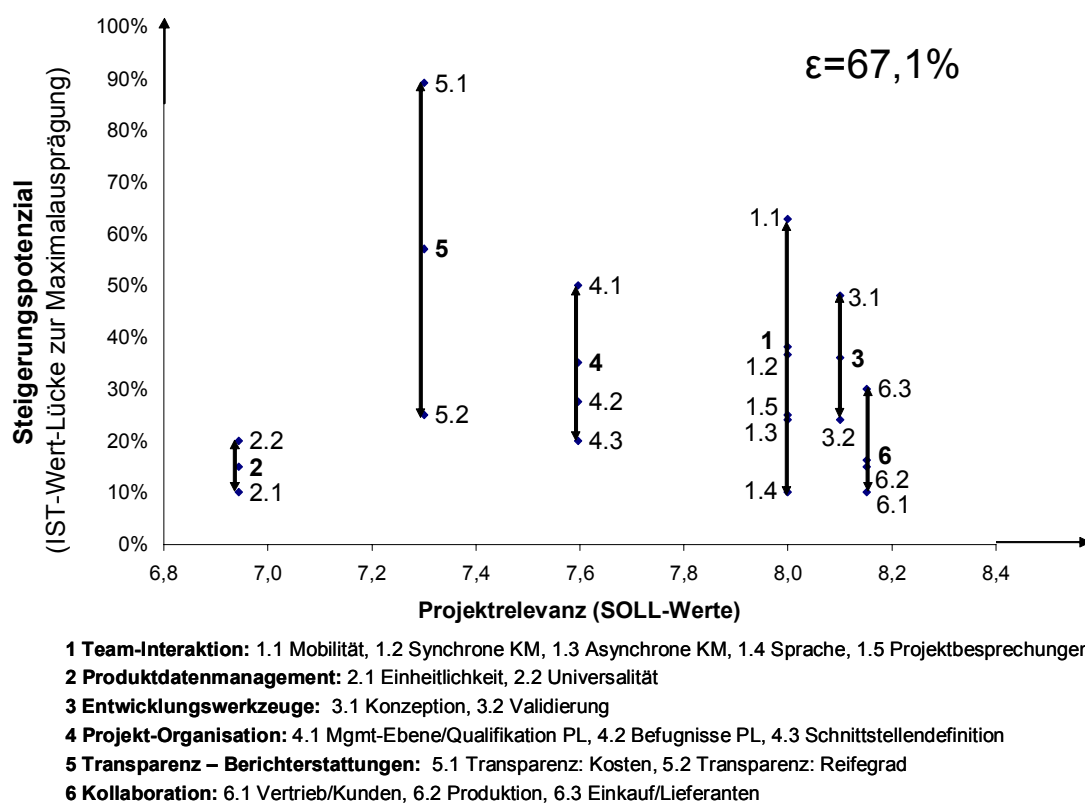


Abbildung 66: Auswertung Fallstudie 3: Steigerungspotenzial und Projektrelevanz der Erfolgsfaktoren²²⁷

²²⁷ Eigene Darstellung.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Ganzheitlicher methodischer Benchmarking-Ansatz

Der vorgestellte ganzheitliche methodische Ansatz zum Benchmarking von *Fertigungssystemen* ermöglicht wie kein anderer Bewertungsansatz die Schaffung von Transparenz in Bezug auf die Leistungsfähigkeit eines Fertigungssystems aus Anwendersicht. Der direkte Wettbewerbsbezug trägt entscheidend zur objektiven Identifikation und Priorisierung von Entwicklungsbedarf bei. Gleichzeitig werden Schwächen klassischer Benchmarking-Ansätze, wie insbesondere eine intransparente Multidimensionalität der Referenzparameter und ein geringer Kundenbezug, vermieden. Dies gelingt durch die Integration der technischen und betriebswirtschaftlichen Charakteristika in dem aus Anwendersicht entscheidenden Referenzparameter „Fertigungskosten je (Gutteil-) Werkstück über die technische Lebensdauer des Fertigungssystems“. Die Einbindung unterschiedlicher Werkzeugmaschinen in vergleichbare Fertigungssysteme ermöglicht die ganzheitliche Beurteilung zukunftsweisender Fertigungskonzepte, wie beispielsweise Prozessintegration, Komplettbearbeitung und die Automatisierung von Materialfluss- und Fertigungsprozessen. Merkmale des Vorgehens sind eine systematische Variation von Prozessketten und Prozessen, die direkt aus den Bedürfnissen der Maschinenanwender abgeleitete ganzheitliche, quantitative Bewertung der Fertigungssysteme und schließlich die priorisierte Maßnahmenableitung über die kritischen Charakteristika. Im Praxisbeispiel wurde aufgezeigt, dass mit Unterstützung der vorgestellten Methodik Verbesserungspotenziale umfassend quantifiziert und geeignete konstruktive, fertigungstechnische und betriebswirtschaftliche Maßnahmen zielorientiert abgeleitet werden können. Einen Nachteil der Methodik stellt der hohe Kosten- und Zeitaufwand der Informationserfassung und -verarbeitung dar. Zudem werden Aspekte der Investitionssicherheit (Rekonfigurierbarkeit, Stand der Technik, Mobilität der Maschine) nicht berücksichtigt.

Die Anwendung des ganzheitlichen methodischen Benchmarking-Ansatzes auf *Produktentstehungsprozesse* ermöglicht die systematische Bewertung der Erfolgsfaktoren des Produktentstehungsprozesses im Werkzeugmaschinenbau. Zudem kann ein Beitrag zur objektiven Identifizierung von Stärken und Schwächen geleistet werden. Die bestehenden Methoden zur Bewertung von Produktentstehungsprozessen postulieren bestimmte Erfolgsfaktoren in maximaler Ausprägung unabhängig von der Branche und dem Entwicklungsprojekt als Idealzustand. Zudem werden die Besonderheiten global verteilter Entwicklungsprojekte, die wesentlich gesteigerte Anforderungen an Informations- und Kommunikationswege stellen, meist nicht beachtet. Das vorgestellte Benchmarking-Vorgehen zeichnet sich aus durch eine parallele Bewertung von Soll- und Ist-Ausprägungen von Er-

folgsfaktoren. Dabei werden Soll-Ausprägungen direkt aus projektspezifischen Anforderungen und Ist-Ausprägungen aus konkretisierten und gewichteten Bewertungsparametern abgeleitet. Auf diesem Weg wird den im Einzelfall sehr unterschiedlichen Projektvoraussetzungen, wie beispielsweise Innovations- und Komplexitätsgrad des neuen Produktes und Globalisierungsgrad des Entwicklungsteams Rechnung getragen. Im Ergebnis wird eine individuelle Bewertung von Stärken und Verbesserungspotenzialen ermöglicht, aus der in Anknüpfung an die Bewertungsparameter konkrete Maßnahmen abgeleitet werden können. In der Anwendung auf drei aktuelle Entwicklungsprojekte bei weltweit führenden Herstellern wurde aufgezeigt, dass die in der Praxis relevanten Erfolgsfaktoren in der vorgestellten Benchmarking-Methodik vollständig berücksichtigt sind. Zudem konnte bei allen drei Fallstudien ein nachvollziehbarer und plausibler Handlungsbedarf zur Optimierung der Produktentstehung abgeleitet werden. Mängel der vorgestellten Methodik bestehen darin, dass durch die a) starke Beschränkung der möglichen Benchmarking-Partner im Werkzeugmaschinenbau und b) der aufgrund des intensiven Wettbewerbs restriktiven Informationspolitik der Hersteller nur in geringem Umfang vollständig neue Konzepte und Herangehensweisen identifiziert werden können.

9.2 Weiterer Forschungsbedarf

Zukünftiger Forschungsbedarf im Benchmarking von Fertigungssystemen besteht in der Verringerung von Zeitaufwand und Komplexität. Dies könnte durch die Konzeption geeigneter Software-Instrumente zur beschleunigten Konfiguration von Fertigungssystemen, sowie die vorausschauende Erfassung der typischen Parameter verschiedener Fertigungsaufgaben in einer Datenbank geschehen. Zur Unterstützung von wettbewerberübergreifenden Benchmarking-Projekten könnten internetbasierte Instrumente beitragen, die automatisiert Informationen auswerten und anonymisiert Ergebnisse ableiten. Aspekte der Investitionssicherheit könnten über die Ausweitung des Szenario-Ansatzes auf mehrere Werkstücke je Szenario (abhängig von den Produktgenerationen des Werkstück-Endprodukts) und wechselnde Standorte je Szenario in der Methodik integriert werden.

Im Benchmarking von Produktentstehungsprozessen des Werkzeugmaschinenbaus besteht der Forschungsbedarf primär darin, den Werkzeugmaschinenbau in ein branchenübergreifendes Benchmarking zu integrieren. Es ist davon auszugehen, dass sowohl andere Branchen etwas vom Werkzeugmaschinenbau lernen können, als auch umgekehrt Werkzeugmaschinenhersteller Erfolgsfaktoren aus anderen Branchen, beispielsweise der Pharmaindustrie, der Automobilindustrie und der Luftfahrtindustrie transferieren können. Ansatzpunkte für die Identifizierung transferierbarer Erfolgsfaktoren könnten die Fokussierung bestimmter Teilprozesse

9 Zusammenfassung und Ausblick

(z.B. Marktanalyse, Prototypenbau) oder die Gestaltung bestimmter Organisationsmethoden (z.B. Target Costing, Quality Gates) sein.

10 Anhang

10.1 Auswahl auf der Industriemesse EMO 2005 vorgestellter Innovationen

Sitz	Hersteller	Bereich	Innovation
Deutschland	Abacus/ Heun	Erodieren	Elektrodenwechselsystem für Erodiermaschinen (verringerte Stillstandzeiten, genauere Bearbeitung)
Deutschland	Amada	Lasern	Hochgeschwindigkeits-Laseranlage FOL 3015 (Verfahrgeschw. von 240 m/Min, Beschleunigung über 4 g)
Deutschland	Chiron	Bearbeitungs- zentren	Bearbeitungszentrum Quattrocell mit Span-zu-Span-Zeit von 0,6 s
Deutschland	Fette/ Liebherr	Fräsen	Verschränkungsfreies Fertigfräsen von Verzahnungen
Deutschland	Hermle/ Heidenhain	CNC	Dynamic Collision Monitoring (steuerungsintegrierte Kollisionsüberwachung)
Deutschland	Kasto	Werkstück- Handling	Kastosort - Palettieren von variablen Abschnitten ohne zusätzlichen Bedienaufwand
Deutschland	Kern	Fräszentrum	High Speed Precision Cutting (Vorschub 16 m/Min, Präzision $\pm 1\mu\text{m}$)
Deutschland	Kipp	Spannmittel	Modulares "One-Touch"-Spannsystem für kurze Rüstzeiten und hohe Werkstück-Flexibilität
Deutschland	Sandvik Coromant	Bohr- Schneidstoff	Step-Technologie (stufenweiser Eintritt des Bohrers, 40-100% beschleunigter Vorschub)
Deutschland	Schunk	Werkzeug- Wechsel	Greifer mit Werkzeugschnittstelle für vollautomatischen Werkzeugwechsel
Deutschland	Visicontrol	Werkstück- Handling	Hochleistungs-Mess- und Sortier-Anlage für Schrauben (1.200 Schrauben pro Minute)
Deutschland	Vogtland	Bearbeitungs- zentren	HPC Flex - Flexibel einsetzbare Bearbeitungs-module mit variablen Werkstückträger-Baugruppen
Deutschland	Walter	Fräs- Schneidstoff	Tiger-Tec-Werkzeugkonzept für hohe Schneidgeschwindigkeit auch bei schwer zerspanbaren Werkstoffen
Italien	Sinico	Ablängen/ Enden- bearbeitung	TR30/2-160-CN - kompakte automatisch arbeitende Maschine zum Ablängen und Endenbearbeiten mit elektromechanisch gesteuerten Achsen
Italien	Tacchella Macchine	Universal- maschine	Multitech - mehrstufiges Fertigungszentrum zum Schleifen, Bohren, Fräsen und Drehen mit hohen Schnittgeschwindigkeiten
Japan	Big	Spindeln	Air Turbine Spindle (Drehzahl bis 80.000 min^{-1} , Erhöhung der Werkzeug-Standwege um bis zu 45%)
Japan	Makino	Bearbeitungs- zentren	5-Achs-Hochleistungs-BAZ für die Herstellung komplexer Freiformgeometrien mit hoher Mengenleistung

10 Anhang

Sitz	Hersteller	Bereich	Innovation
Japan	Mori Seiki	Drehen/Fräsen	Integriertes Dreh-/Fräszentrum NT: Driven at the Center of Gravity (Antrieb im Schwerpunkt zur Minimierung von Vibrationen)
Österreich	Boehlerit	Dreh-Schneidstoff	High Performance Turning (Drehwendeplatte mit verdreifachter Produktivität)
Schweiz	Agie	Erodieren	Agiatron Micro-Nano - Erodierereinheit mit Festkörpergelenken und flexiblen Strukturen für hohe Genauigkeit (1 Kubik-cm)
Schweiz	Studer	Schleifen	Hochpräzise Rundschleifmaschine S12 (100nm Fertigungsgenauigkeit)

Tabelle 10: Auswahl von auf der Industriemesse EMO 2005 vorgestellten Innovationen²²⁸

10.2 Zahlen zum Werkzeugmaschinenbau in Taiwan

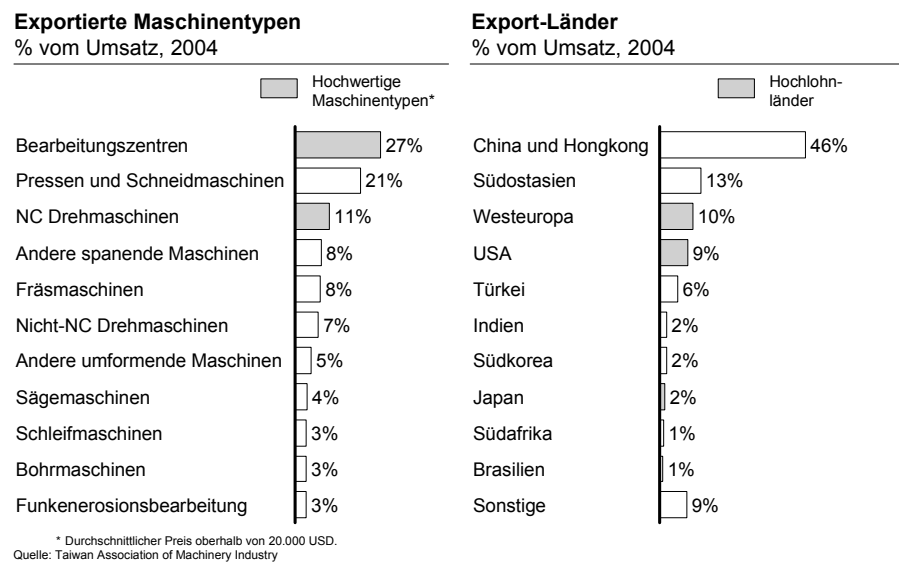
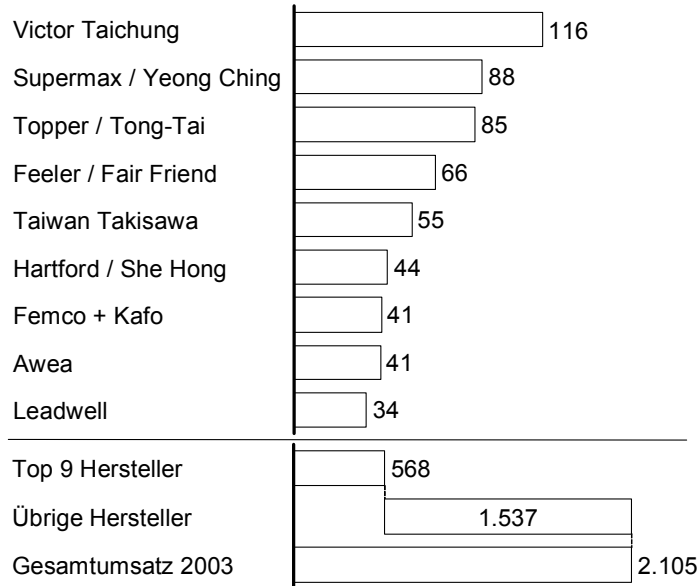


Abbildung 67: Struktur des Werkzeugmaschinenexports Taiwans: Maschinentypen und Export-Länder

²²⁸ Eigene Zusammenstellung, Fachpresse, Unternehmensinformationen. Die Zusammenstellung erfolgte ohne vorherige Recherche von Patentrechten und zuvor vorgestellten Innovationen.

10 Anhang



Quellen: "Common Wealth" Magazin (Taiwan, 1. Mai 2004), Victor Taichung Machinery, VDW

Abbildung 68: Umsätze taiwanesischer Hersteller (2003, in Mio. USD)

10.3 Informationen zum Benchmarking von Fertigungssystemen

Kennziffern WF			Hersteller 1		Hersteller 2	Hersteller 3	Hersteller 4	
			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Maschinenkosten								
Invest Maschine+Automatisierung	% von M1		100%	94%	84%	106%	78%	75%
Nutzungsdauer	Jahre		10	10	10	10	9	9
Technische Verfügbarkeit	%		98%	98%	98%	98%	95%	95%
Flächen- und Medienkosten								
Raumbedarf	m ²		30	30	15	42	42	30
Strom	kW		16	9	9	9	9	16
Druckluft	m ³ /h		10	8	8	10	8	10
Hydrauliköl	l/Jahr		170	170	170	250	250	170
Werkzeug-Kosten								
Anzahl Nachschliffe	#		16	16	16	16	16	16
Fräserpreis	EUR		1200	1200	1200	1200	1200	1200
Aufbereitungskosten	EUR		170	170	170	170	170	170
Werkzeug-Kosten (Zahnrad 1)	EUR/Werkstück		0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Instandhaltungskosten								
Wartung durch eigene MA	h/Jahr		120	130	120	110	150	150
Service durch Hersteller	h/Jahr		20	20	25	30	25	25
Ersatzteile	T EUR / Jahr		6,4	6,0	5,4	6,8	5,0	4,8
Personalkosten								
Bediener	Bediener pro Maschine		0,25	0,25	0,25	0,25	1	1
Einrichter	Min./Los		77,08	73,75	73,75	77,08	73,75	77,08
Mengenleistung								
Zykluszeit (Zahnrad 1)	Min.		0,41	0,33	0,33	0,41	0,41	0,41
Umrüstzeit	h		8	3	4,5	5,5	5,5	8
Rüstzeit	Min.		60	60	60	60	60	60

Abbildung 69: Kennziffern Wälzfräsmaschinen²²⁹

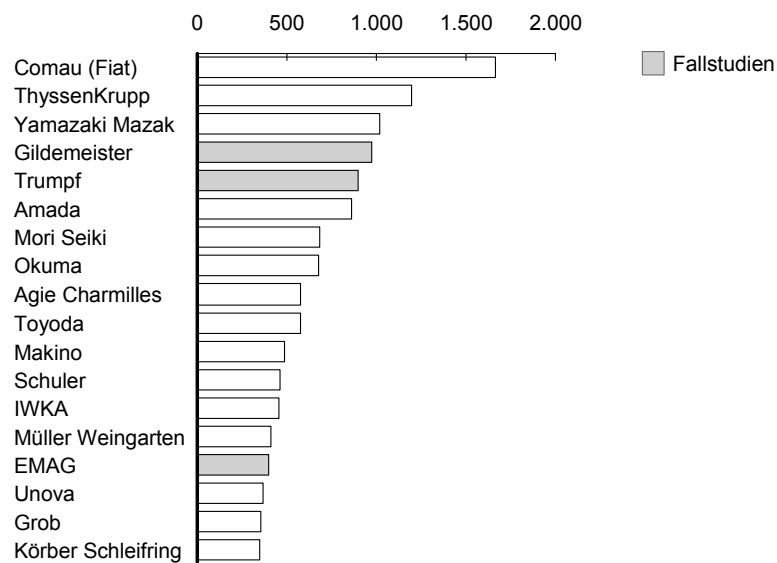
²²⁹ Eigene Darstellung, Kennziffern zur Herstellung der Vertraulichkeit verfremdet.

10 Anhang

10.4 Informationen zu den Unternehmen und Produkten im PEP-Benchmarking

Geschäftsjahr 2004		VDW ²³⁰	EMAG	Gildemeister	Trumpf
Jahresumsatz	Mio. EUR	9.800	~ 350	1.052	1.221
davon im Ausland	Prozent	62%	n.v.	52%	66%
Eigenkapital	Mio. EUR	n.v.	n.v.	250	398
Umsatz-Wachstum '99 bis '04	Prozent p.a.	2,6%	~15%	8,8%	6,9%
Jahresüberschuss	Mio. EUR	n.v.	n.v.	5,6	55,5
Umsatzrendite	Prozent	n.v.	n.v.	0,5%	4,5%
Eigenkapitalrendite	Prozent	n.v.	n.v.	2,2%	13,9%
F&E-Intensität ²³¹	Prozent	~6%	n.v.	3,6%	8,0%
Materialaufwandsquote	Prozent	n.v.	n.v.	53%	47%
Mitarbeiter	Anzahl	65.027	~ 1.900	5.174	5.790

Tabelle 11: Kennzahlen der befragten Unternehmen (Gruppen-Ergebnisse)²³²



Quellen: Metalworking Insiders' Report, EMAG Unternehmensinformationen

Abbildung 70: Weltweit umsatzstärkste Werkzeugmaschinenhersteller 2003/2004 (Umsatz mit Werkzeugmaschinen in Mio. EUR)

²³⁰ Summe aller deutschen Werkzeugmaschinenhersteller im VDW.

²³¹ F&E-Aufwand bezogen auf den Umsatz.

²³² Geschäftsberichte/Unternehmensangaben.



Abbildung 71: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk Trumpf GmbH & Co KG (nur Werkzeugmaschinen)²³³



Abbildung 72: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk Gilde-meister AG²³⁴

²³³ Unternehmensinformationen.

²³⁴ Unternehmensinformationen.



Abbildung 73: Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerk EMAG Maschinenfabrik GmbH²³⁵

²³⁵ Unternehmensinformationen.

10 Anhang

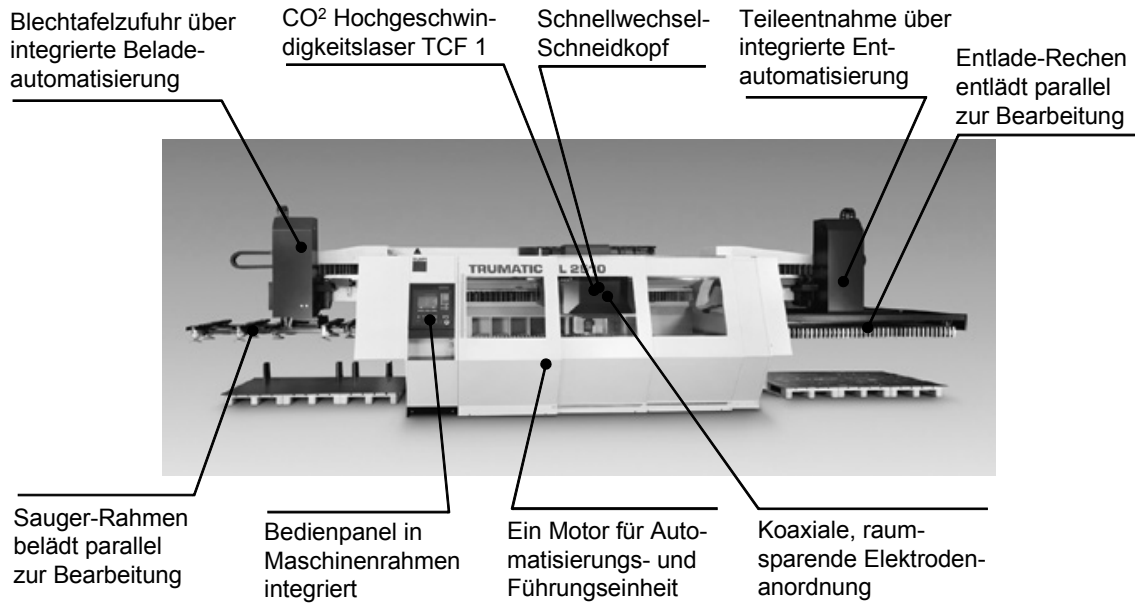


Abbildung 74: Eigenschaften der Laserschneidmaschine Trumatic L 2510²³⁶

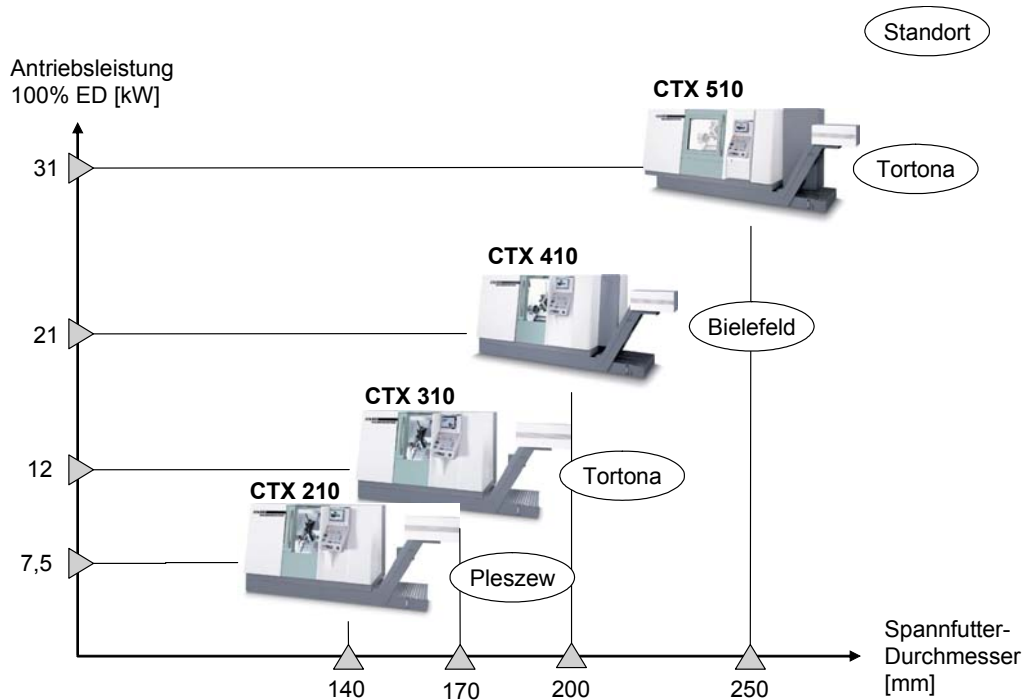
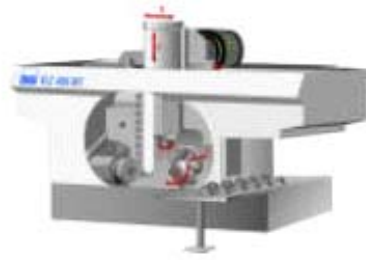


Abbildung 75: Positionierungen der Gildemeister CTX 10er Baureihe²³⁷

²³⁶ Trumpf Gruppe.

²³⁷ Produktkataloge Gildemeister.

Außenansicht



Bearbeitungsvorgänge



Drehen



Fräsen

Abbildung 76: EMAG VLC 400 MT: Außenansicht und Bearbeitungsvorgänge²³⁸

10.5 Kurzfragebogen: Erfolgsfaktoren für verteilte Produktentstehungs-Projekte

1. Team-Interaktion

Nutzung von Kommunikationstechnologien

	Nicht genutzt		Wöchentlich		Täglich genutzt
Telefonkonferenzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videokonferenzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bulletin Board/Intranet-Forum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E-Mail	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektron. Kalenderabstimmung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fax	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefongespräche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anrufbeantworter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Post	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Textbasiertes Konferenzsystem*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Shared-Whiteboard-System**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Application-Sharing-System***	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

²³⁸ Unternehmensinformationen.

10 Anhang

Workflow-Mgmt-System**** ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

* Austausch durch Übermittlung von Textnachrichten (Instant Messaging), z.B. Microsoft Messenger oder Sametime Connect

** Elektronischer Notizblock, dessen graphischer Inhalt allen Teilnehmern sichtbar wird

*** Bedienoberfläche eines Programms ist allen Teilnehmern zugänglich ("Real Time Groupware", Anwendungskooperation), z.B. NetMeeting

**** Ergänzung von Anwendungssystemen um prozeßorientierte Steuerungslogik (Steuerung und Automatisierung von Geschäftsprozessen)

Kommentar: _____

Mobilität – Versetzungen/Dienstreisen

Versetzungen	von Standort	zum Standort	Dauer
Mitarbeiter: _____	_____	_____	_____ Monate
Mitarbeiter: _____	_____	_____	_____ Monate
Mitarbeiter: _____	_____	_____	_____ Monate
Mitarbeiter: _____	_____	_____	_____ Monate
Mitarbeiter: _____	_____	_____	_____ Monate

Reisen	Reisefrequenz	Aufenthaltsdauer (Ø)
Projektleiter	_____ pro Jahr	_____ Tage
Projektmitarbeiter (Ø)	_____ pro Jahr	_____ Tage
_____	_____ pro Jahr	_____ Tage

Kommentar: _____

Projektbesprechungen

Frequenz	Woche	alle 2 Wo.	Monat	alle 2 Mo.	halbjährlich	jährlich	seltener
Standort-Teams:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projekt-Team:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sprache

Sprachen in der technischen Dokumentation:

Sprachen in der Projektkommunikation (z.B. Protokolle, Rund-Mails):

10 Anhang

2. Produktdatenmanagement

CAD-Systeme

CAD-System Standorte

_____	_____
_____	_____
_____	_____

Universeller* Zugriff auf zentralen Datenstand

	Nicht vorhanden	Regelmäßige Synchronisierung	Echtzeit-Zugriff
Anforderungslisten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geometrie-Daten (CAD)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prozess-Daten (CAM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* jeder F&E-Standort, der an der jeweiligen Entwicklung beteiligt ist

Kommentar: _____

3. Entwicklungswerkzeuge

Anwendungsumfang	Nicht angewandt	Teilweise	Umfassend
Rapid Prototyping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hardware-in-the-Loop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finite-Elemente-Methode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reverse Engineering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wertanalyse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Digital Mock-Up	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produkt-Benchmarking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Virtual Reality	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quality-Function-Deploym.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Morphologische Analyse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRIZ/TRIPS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simulationstechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Failure Mode and Effects Analysis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kommentar: _____

10 Anhang

4. Projekt-Organisation

Management-Ebene des Projektleiters

Sachbearbeiter	Teamleiter	Abteilungsleiter	Bereichsleiter	Direktor
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Befugnisse Projektleiter

	Sehr schwach	Mittel	Sehr stark
Mitspracherecht Zieldefinition	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Festlegung Randbedingungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektbez. Entscheidungsrecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auswahl Projektmitarbeiter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verfügungsrecht Projektbudget	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zugriffsrecht auf Informationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delegationsrecht von Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vertretungsrecht des Projekts nach außen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Schnittstellendefinition

	Nicht zutreffend	Teilweise zutreffend	Voll zutreffend
Nach Modulen*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Systemen**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Technologien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Varianten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Kunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Phasen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* räumlich zusammenhängende Elemente

** funktional verknüpfte Elemente

Kommentar: _____

5. Transparenz

Technische Reifegraderreichung

Frequenz*	Woche	alle 2 Wo.	Monat	alle 2 Mo.	halbjährlich	jährlich	seltener
Projektleiter:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10 Anhang

F&E-Leiter: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Geschäftsleitung: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Stand der Ist-Produktkosten gegenüber Zielkosten

Frequenz* Woche alle 2 Wo. Monat alle 2 Mo. halbjährlich jährlich seltener

Projektleiter: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

F&E-Leiter: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Geschäftsleitung: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

* Taktung der Berichte

Kommentar: _____

6. Kollaboration

Einbindung externer Partner

Phase Ideenfindung Konzeption Komp.-entw. Systemintegr. Prod.-reife

Entwicklungspartner ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Lieferanten ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Kunden ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Sonstige: _____ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Kommentar: _____

Einbindung anderer betrieblicher Funktionen

Phase Ideenfindung Konzeption Komp.-entw. Systemintegr. Prod.-reife

Vertrieb ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Marketing ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Produktion ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Einkauf ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Finanzen/Controlling ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Sonstige: _____ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Kommentar: _____

10.6 Interviewergebnisse zur Laserschneidmaschine²³⁹

Instrumente / Erfolgsvoraussetzungen

- Team-Interaktion

Der Projektleiter und ein Konstrukteur aus Ditzingen wurden für eine Gesamtdauer von vier Jahren nach Farmington entsendet, zudem war ein Konstrukteur aus Neukirch für zwei Monate in Farmington. Die Entsendung der beiden Mitarbeiter aus Ditzingen über einen Zeitraum, der die Entwicklungszeit deutlich überstieg, war zum einen wichtig zur Unterstützung des Produktanlaufs und zeigte zum anderen den Entwicklern in Farmington glaubwürdig das langfristige persönliche Engagement. Für alle beteiligten Entwickler wurde zu Projektbeginn eine "Kick-off"-Veranstaltung in Farmington organisiert. Anschließend kommunizierten die Team-Mitglieder hauptsächlich telefonisch und über E-Mail, mehrmals wöchentlich wurden Telefonkonferenzen durchgeführt und durchschnittlich einmal in der Woche eine Videokonferenz. Die Mitarbeiter nutzten intensiv die elektronische Kalenderabstimmung. Die Kommunikation im Projekt (z.B. Protokolle, E-Mails) geschah zu 80% auf Englisch. Einzelne Entwickler unternahmen ca. 2-3 Mal pro Jahr Dienstreisen zu anderen Standorten für eine Dauer von 7-10 Tagen.

- Produktdaten-Management

Das Management der Produktdaten wurde über eine einheitliche, standortübergreifende CAD-Plattform (Solid Works) mit einer zentralen Datenbank realisiert. Die Mitarbeiter aller Standorte waren in der Lage, Produktdaten in Echtzeit zu modifizieren. Der direkte Zugriff auf die zentrale Datenbasis ermöglichte die sofortige Erkennung von etwaigen Bauteil-Kollisionen oder Inkonsistenzen. Die Entwickler konnten Probleme direkt mit ihren Kollegen von anderen Standorten klären und Modifikationen sofort umzusetzen. Der universelle Zugriff erstreckte sich jedoch nicht auf die CAM-Daten, diese wurden nur an den jeweiligen Produktionsstandorten gepflegt.

- Entwicklungs-Werkzeuge

Zur Unterstützung der Problemlösung in der Konzeptionsphase wurde TRIZ (Theorie des erfinderischen Problemlösens), die Wertanalyse, Benchmarking-Methoden und das Quality Function Deployment eingesetzt. Als Werkzeuge zur Konzeptvalidierung griffen die Entwickler hauptsächlich auf die FEM, Simulationen, FMEA, Virtual Reality und Rapid Prototyping zurück. Trumpf hat sich in der Entwicklung bewusst für bestimmte Entwicklungswerkzeuge entschieden, deren

²³⁹ Quellen: Gespräch mit Herrn Friedrich Kilian, Vorstand Forschung & Entwicklung / Herrn Martin Lober, Pressereferent Werkzeugmaschinen / Herrn Detlef Breitling, Referent Geschäftsleitung Forschung und Entwicklung, Trumpf Gruppe (am 27. Juni 2005 in Ditzingen), ergänzend: Trumpf Geschäftsbericht 2004.

10 Anhang

Anwendung überall einheitlich und auf einem hohen Niveau erfolgt. Beispielsweise wurde TRIZ im Jahr 2000 im Rahmen eines Pilotprojekts eingeführt. Nachdem TRIZ sich bewährt hatte, wurden weltweit interne Schulungen durchgeführt. Mittlerweile sind an jedem Entwicklungsstandort mindestens zwei Entwickler mit TRIZ gut vertraut und dieses Entwicklungswerkzeug wird immer wieder bei zunächst scheinbar unüberwindbaren technischen Problemen erfolgreich eingesetzt.

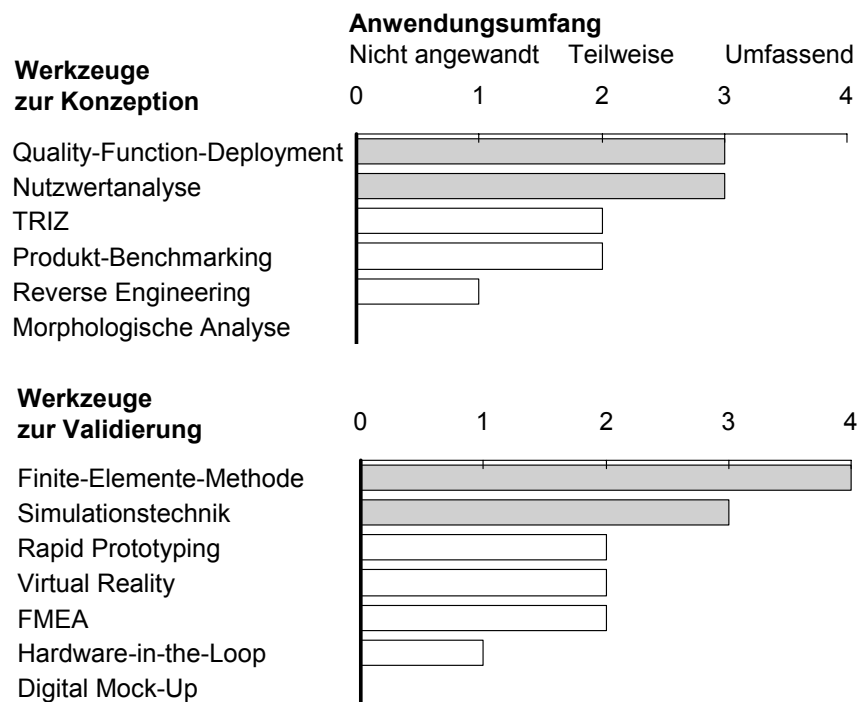


Abbildung 77: Anwendung von Entwicklungswerkzeugen bei der Trumatic L 2510²⁴⁰

Organisationsmethoden / Erfolgstreiber

• Projekt-Organisation

Der Projektleiter war ein Abteilungsleiter aus der Unternehmenszentrale in Ditzingen, der für die Dauer des Projekts nach Farmington versetzt wurde. Sein Netzwerk in der gesamten Trumpf-Gruppe war sehr nützlich, um schnell Probleme lösen und zusätzliche Ressourcen in das Projekt einbeziehen zu können. Die Aufteilung in Teil-Projekte der Standorte war aufgrund der Orientierung an Modulen, Systemen und Technologien für alle Projektmitarbeiter eindeutig. Die Zuordnung der Gesamtverantwortung an den Standort Farmington ermöglichte klare Verhältnisse bei wichtigen Entscheidungen.

²⁴⁰ Fragebogen-Auswertung Trumpf.

- Transparenz

Die Transparenz über den Produkt-Reifegrad (Qualität, Kosten, Termineinhaltung) war durch die konsequent angewendete Quality Gate – Systematik gewährleistet. Zu jeder Freigabe berichtete der Projektleiter an das international besetzte Steering Committee. Der F&E-Leiter der Trumpf-Gruppe wurde jeden Monat über den Projektfortschritt im Detail informiert. Die Projektteams erstellten im Rhythmus von zwei Wochen eine Prognose der Herstellkosten. Dadurch wurde eine hohe Transparenz der Zielkostenerreichung ermöglicht und bei sich abzeichnenden Abweichungen konnte gezielt mit Maßnahmen gegengesteuert werden. Die Quality Gate-Systematik setzt sich zusammen aus sieben standardisierten und mit Checklisten hinterlegten Freigaben, angefangen von der Freigabe des Entwicklungsbeginns, dem Pflichtenheft, dem Konzept, der Komponenten-Entwicklung und der System-Integration über die Freigabe des Prototyps bis zur Verkaufs-Freigabe. Das Pflichtenheft kann beispielsweise erst freigegeben werden, wenn Vertrieb und Marketing die Erfüllung der Marktanforderungen sichergestellt haben. Die Freigabe des Konzepts kann erst erfolgen, wenn die Produktion die prinzipielle Machbarkeit und der Einkauf die Anforderungserfüllung durch die Lieferanten bestätigt hat. Die Freigabe des Prototypens setzt unter anderem die Sicherstellung der Zielkosten-Erreichung und die erprobte Funktionstüchtigkeit der einzelnen Baugruppen voraus. Die Verkaufs-Freigabe kann erst erfolgen, wenn die Gesamt-Funktionalität des Produkts abgesichert ist, die Lieferfähigkeit sichergestellt ist und alle Vertriebsländer über das notwendige produktspezifische Service-Know-How verfügen.

- Kollaboration

Entscheidend in der Kooperation mit externen Unternehmen und den anderen betrieblichen Funktionen war die Einbindung von Schlüsselkunden in die Konzeptions- und von Schlüssel-Lieferanten sowie Mitarbeitern aus der Produktion in die Komponenten-Entwicklungsphase (vgl. Abbildung 78). Die frühe Einbindung der Schlüsselkunden gewährleistete eine Ausrichtung an den tatsächlichen Marktbedürfnissen. Beispielsweise wusste Trumpf, dass die amerikanischen Kunden stärker als deutsche Kunden preisorientiert sind. Dementsprechend wurde auf einen kostenoptimierten Aufbau geachtet, ein Antriebsmotor eingespart und das Bedienpanel im Maschinenrahmen integriert. Im technischen Pflichtenheft wurde die maximale Werkstückdicke (Baustahl) auf 12mm festgelegt – das Entwicklungsteam hatte erkannt, dass 80% der amerikanischen Kunden ohnehin keine dickeren Bleche bearbeiten (vgl. Abbildung 79). Über die frühe und durchgängige Einbindung der Schlüssel-Lieferanten und der Produktion kamen immer wieder wertvolle Anregungen für fertigungs- und montagegerechte Konstruktionen.

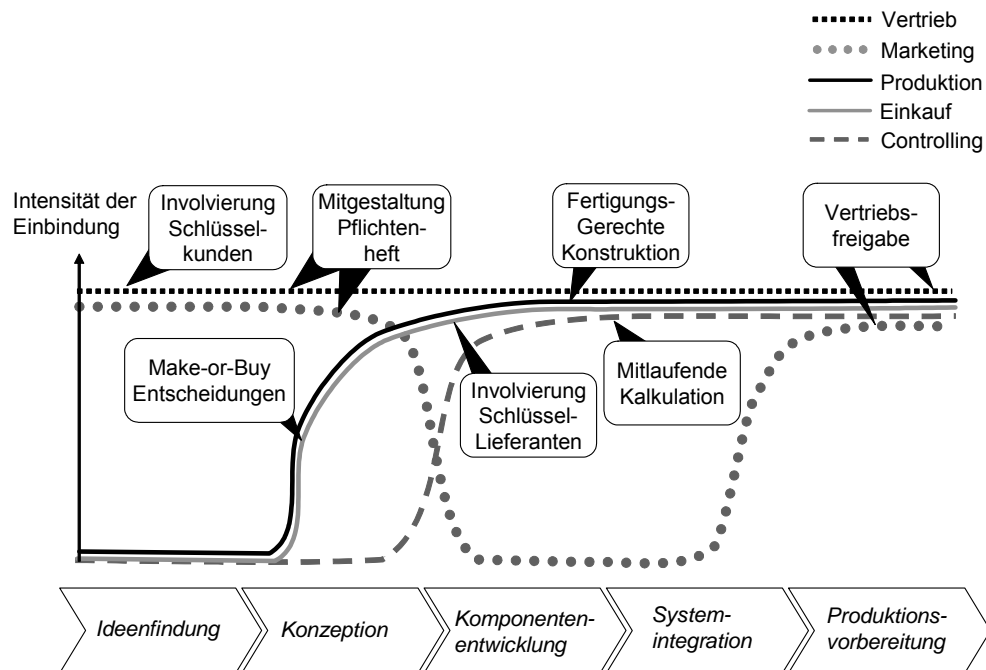


Abbildung 78: Concurrent Engineering im Entwicklungsprozess der Trumatic L 2510²⁴¹

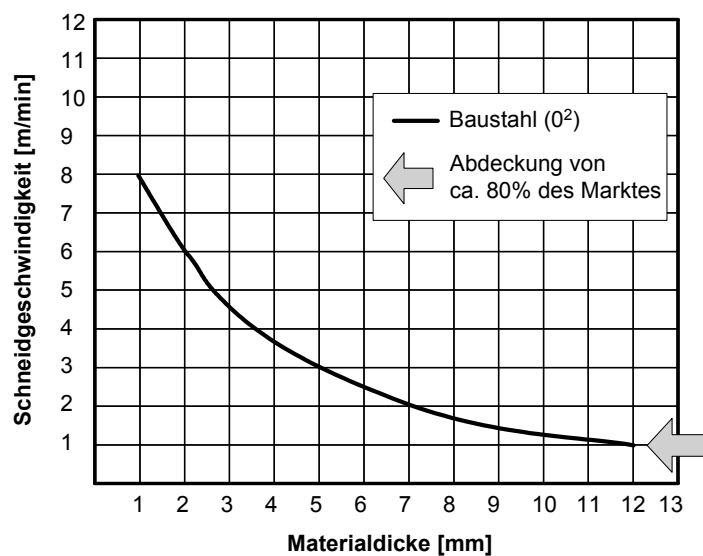


Abbildung 79: Schneidgeschwindigkeit des TCF 1 – Lasers in Abhängigkeit von der Materialdicke²⁴²

²⁴¹ Fragebogen-Auswertung Trumpf.

²⁴² Unternehmensinformationen.

10.7 Interviewergebnisse zur Universaldrehmaschine²⁴³**Instrumente / Erfolgsvoraussetzungen**

- Team-Interaktion

Im Verlauf des Entwicklungsprojekts wurde eine Reihe von Kommunikationsmedien intensiv genutzt. Insbesondere mit der Anwendung internet- und intranet-basierter Medien haben die Mitarbeiter gute Erfahrungen gesammelt (vgl. Abbildung 80). Die dafür notwendigen infrastrukturellen Voraussetzungen in Hard- und Software wurden in den letzten Jahren konsequent ausgebaut.

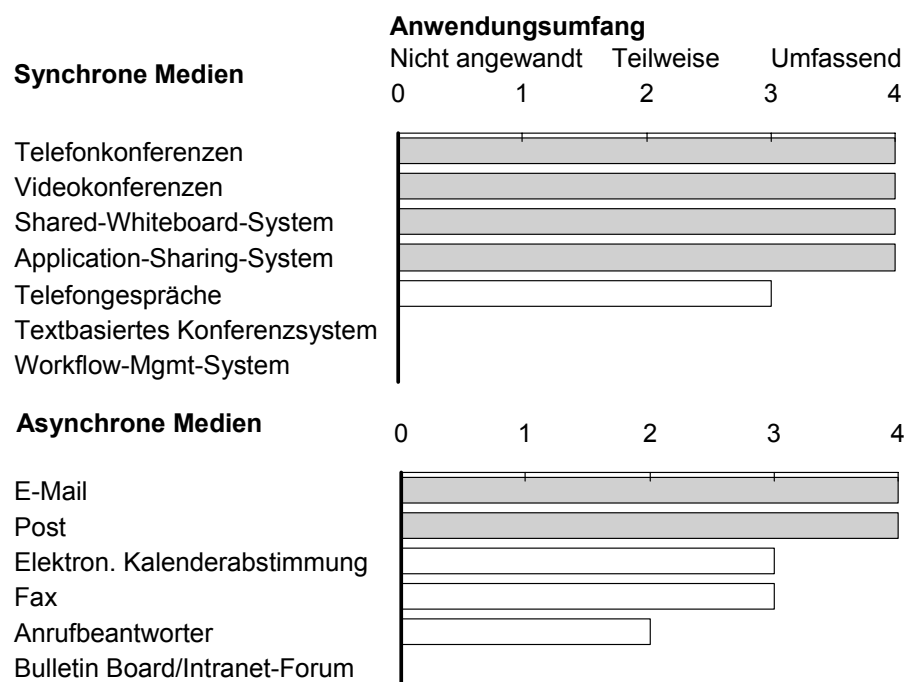


Abbildung 80: Anwendungsumfang von Kommunikationsmedien bei der Entwicklung der CTX 10er Baureihe²⁴⁴

Das Entwicklungsteam hat sich ca. alle 6 Wochen abwechselnd an einem der drei Standorte getroffen, zusätzlich gab es alle 1-2 Wochen Videokonferenzen. Jeder Standort der Gildemeister AG verfügt über mindestens einen Videokonferenz-Raum. Alternativ zu Videokonferenzen wurde, insbesondere bei 1:1-Interaktionen eine Kombination aus Telefon und Shared-Whiteboard-System (NetMeeting) verwendet. Für die asynchrone Kommunikation wurde hauptsächlich E-Mail genutzt. Textbasierte Konferenzsysteme und Intranet-Foren wurden nicht eingesetzt. E-Mails werden generell gegenüber Voice-Mails bevorzugt verwendet. Workflow-

²⁴³ Quellen: Gespräch mit Dr. Thorsten Lasch, Zentrale Entwicklungskoordination, Gildemeister AG (Seebach, 9. Mai 2005), ergänzend: Gildemeister Geschäftsbericht 2004, Lieferkatalog Gildemeister I/2005.

²⁴⁴ Unternehmensinformationen.

Management-Systeme analog den Software-Systemen im Rechnungswesen und in der Materialwirtschaft werden aufgrund des hohen Anteils kreativer und im Detail nicht vorhersagbarer Entwicklungsschritte nicht verwendet.

In der standortübergreifenden Kommunikation ist Englisch die hauptsächlich genutzte Sprache.

- Entwicklungswerkzeuge

Zur Unterstützung der Konzeption wurden hauptsächlich die Wertanalyse, die morphologische Analyse und Produkt-Benchmarking verwendet. In geringerem Umfang wurde auch Reverse Engineering durchgeführt, TRIZ wurde nicht eingesetzt. Zur Validierung wurden FEM-Modelle und die FMEA angewendet. Zudem wurde auch punktuell auf Simulationstechniken und Rapid Prototyping zurückgegriffen. Die Gildemeister AG investiert zur Zeit etwa 5.000 bis 15.000 EUR je neu entwickelter Maschine in Simulationstechniken. Im Rahmen des Leitprojekts "integrierte virtuelle Produktentstehung" (iViP) wird Gildemeister das erste Mal einen kompletten digitalen Werkzeugmaschinenprototypen entwickeln.²⁴⁵

Die kostenintensiveren Instrumente aus der Automobilindustrie (beispielsweise Digital Mock-Up, Zerlegung und Analyse aller Wettbewerbsprodukte) werden generell aufgrund der wesentlich geringeren Stückzahlen (Größenordnung 1 Promille) nur ansatzweise praktiziert.

- Produktdatenmanagement

Als einheitliche Plattform für die Produktdaten diene das 3D-CAD-Programm ProEngineer. In einzelnen Standorten wurde bislang noch konkurrierende Software auf 2D-Basis verwendet (beispielsweise Medusa). Bis Ende 2005 werden alle Standorte der Gildemeister AG auf ProE umgestellt haben. Diese Vereinheitlichung der Produktdaten-Modelle sieht DMG als wichtige Voraussetzung für die standortübergreifende Kooperation und für internationale Aktivitäten. Daten zu den Fertigungsprozessen (CAM) sind innerhalb von Gildemeister aufgrund der relativ geringen Fertigungstiefe nur von untergeordneter Bedeutung.

Der universale Schreib- und Lesezugriff auf die Anforderungslisten (Lastenhefte/Pflichtenhefte) und Geometrie-Daten wird über von allen F&E-Standorten zugängliche und im Tagesrhythmus synchronisierte Datenbanken sichergestellt. Um konkurrierende Änderungen an identischen Daten auszuschließen, haben die Entwickler die Möglichkeit, jeweils die Elemente unter Bearbeitung für Schreibzugriffe von Kollegen zu sperren. Dabei können sie flexibel über den Umfang der Sperrung entscheiden (Einzelteile, Baugruppen oder komplette Produkte). Alle

²⁴⁵ Vgl. Hardt, 2002, S. 60.

Dokumente mit standortübergreifender Bedeutung werden in englischer Sprache geführt.

Organisationsmethoden / Erfolgstreiber

- **Projekt-Organisation**

Der Projektleiter kam aus der Management-Ebene Team-Leiter/Abteilungs-Leiter. Seine Befugnisse in Bezug auf projektbezogene Entscheidungen und Ressourcenzugriff waren relativ groß – im Vergleich zum Linienmanagement hatte er größere Kompetenzen ("starke Matrix-Projektorganisation").

Die Aufteilung der Arbeitsumfänge auf die Standorte richtete sich nach den Maschinentypen der 10er Reihe. Der polnische Standort war für die kleinste CTX 210 zuständig, der italienische Standort für die CTX 310 und die CTX 510 und Bielefeld für die CTX 410. Diese Zuteilung ergab sich aus der Historie der Vorgängertypen. Ganz abweichend vom Vorgehen bei Trumpf hat man also bei DMG die Aufteilung der Entwicklungsarbeit auf Standorte nicht nach Technologien und Kompetenzen im Entwicklungsprozess, sondern nach Baureihen-Varianten durchgeführt. Es scheint primär entscheidend zu sein, dass die Aufteilung leicht nachvollziehbar und eindeutig ist – die tatsächlich gewählte Schnittstellen-Dimension ist vermutlich weniger entscheidend für eine funktionierende Projektorganisation.

- **Transparenz**

Die Transparenz des Projektfortschritts gegenüber der Geschäftsführung wurde über im Detail definierte Design-Reviews abgesichert (Standard-Prozedere bei der Gildemeister AG). Die Review-Meilensteine sind im Einzelnen: Vorbereitung (ca. 1 Monat), Konzept (ca. 2 Monate), Entwurf (ca. 3 Monate), Prototyp (ca. 4 Monate) und Serienanlauf (ca. 2 Monate). Jeder Meilenstein ist mit einer detaillierten Checkliste hinterlegt. Diese Checkliste enthält jeweils ca. 10-50 Fragen mit Nennung der verantwortlichen Abteilung (Beispiele: Vorbereitungsphase: Verkaufspreis und Marktvolumen, Konzeptphase: Wasserdichtigkeit der Blechkonstruktion, Prototyp: Erfüllung der Lastenheft-Anforderungen).

		CTX 210	CTX 310	CTX 410	CTX 510
	Schaltschrank	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Betriebs-Anzeige	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Späneförderer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Luftfilter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Fußschalter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 81: Gleichteile der CTX 10er Reihe (Beispiele)²⁴⁶

Die Kostentransparenz wurde durch die Festlegung von Zielkosten zu Beginn des Projekts und die Neukalkulation der Ist-Kosten jeweils bis auf die Ebene der Baugruppen zu jedem Review-Termin in Abstimmung mit den betreffenden Abteilungen (z.B. Einkauf oder Produktion) sichergestellt. Die erzielbaren Marktpreise und die Wettbewerberpreise bildeten die Grundlage für die Ableitung der Zielkosten. Somit konnte faktengestützt abgewogen werden, in welchen Baugruppen Maßnahmen zur Kostenoptimierung ergriffen werden sollten. Eine dieser Maßnahmen, die durch die standortübergreifende Zusammenarbeit überhaupt erst ermöglicht wurde, die umfangreiche Verwendung von Gleichteilen über die gesamte Baureihe hinweg – dazu gehörten insbesondere Baugruppen mit sekundären Funktionen wie der Schaltschrank, die Betriebs-Anzeige, der Späneförderer, der Luftfilter und der Fußschalter (vgl. Abbildung 81).

- Kollaboration

Die Gildemeister AG greift in ihrer Wertschöpfungskette in hohem Umfang auf die Kompetenz von Lieferanten aus der ganzen Welt zurück. Dies zeigt sich auch in dem hohen Anteil der Materialkosten von ca. 53% am Umsatz. Um Kosteneinsparungen aus Gleichteilen optimal auszunutzen, wird generell über die Vergabe von A-Teilen zentral verhandelt. Einige Module werden vollständig bei Lieferanten beschafft (beispielsweise Blechkonstruktionen, Verkleidungen, Späne-Entsorgungs-System, Kühlschmiermittelanlage). Dementsprechend wurden der Einkauf und wichtige Lieferanten schon in der Projektierungsphase eingebunden.

²⁴⁶ Eigene Aufnahmen.

Zwei Lieferanten stellten jeweils einen Mitarbeiter für etwa 6 Monate vollzeitig für die Entwicklung der neuen CTX 10er Reihe zur Verfügung.

Die funktionsübergreifende Kollaboration wurde durch die zentrale Entwicklungs-koordination stark forciert. Zum Erfolg einer neuen Werkzeugmaschine tragen neben der Entwicklung auch Mitarbeiter aus dem Vertrieb, dem Einkauf, der Arbeitsvorbereitung, der Qualitätssicherung, der Montage und dem Controlling bei und dementsprechend wurden auch diese in alle Abläufe eingebunden. So nahmen Mitarbeiter aller Funktionen an den Review-Terminen teil und übernahmen bestimmte Arbeitspakete. Je nach Entwicklungsphase lag dabei der Schwerpunkt auf unterschiedlichen Funktionen (beispielsweise war der Vertrieb in der Projektierungsphase besonders wichtig, der Einkauf in der Konzeptphase und die Qualitätssicherung in der Entwurfsphase).

10.8 Interviewergebnisse zum Bearbeitungszentrum²⁴⁷

Instrumente / Erfolgsvoraussetzungen

- Team-Interaktion

Die Interaktion des auf vier deutsche Standorte verteilten Entwicklungsteams wurde besonders gefördert durch eine hohe Reisefrequenz des Projektleiters und der übrigen Projektmitarbeiter. So reiste der Projektleiter etwa alle zwei Wochen zu anderen Standorten, alle übrigen involvierten Mitarbeiter etwa alle vier Wochen. Diese überdurchschnittliche Präferenz zu Treffen vor Ort wurde zum einen ermöglicht durch die vergleichsweise große räumliche Nähe der Entwicklungsstandorte und zum anderen für notwendig befunden aufgrund der komplexen technischen Diskussionen.

Darüber hinaus wurde von den asynchronen Medien E-Mail, Fax und Anrufbeantworter und von den synchronen Medien Telefon und Application-Sharing intensiver Gebrauch gemacht. In der standortübergreifenden Kommunikation war Deutsch die hauptsächlich genutzte Sprache.

- Entwicklungswerkzeuge

Die am Häufigsten genutzten Entwicklungswerkzeuge waren die Wertanalyse und das Produkt-Benchmarking (Konzeption) sowie die Finite-Elemente-Methode und die FMEA (Validierung). Kostenintensive neuere Entwicklungswerkzeuge, wie Digital Mock-Up und Rapid Prototyping können nach Ansicht der Entwickler bei der EMAG kaum das durch langjährige Erfahrung gewonnene Wissen der Kon-

²⁴⁷ Quellen: Gespräch mit Herrn Christoph Wernz, Abteilungsleiter Forschung & Entwicklung EMAG Reinecker Karstens Technologie GmbH (Salach, 7. Oktober 2005), ergänzend: Unternehmensprospekte, Produktbroschüren, Sonderheft Maschine + Werkzeug: 50 Jahre EMAG in Baden-Württemberg.

strukturen ersetzen und sind in ihren spezifischen Anwendungsfällen nur von geringem Nutzen. Die EMAG vertraut bei der Entwicklung innovativer Fertigungslösungen mit hohem Kundennutzen hauptsächlich auf den Einfallsreichtum und das technische Geschick der eigenen Mitarbeiter. Somit dient auch der Einsatz von Werkzeugen zur Konzeption weniger der Inspiration, sondern vielmehr der Beobachtung des Wettbewerbs und der Prognose zukünftiger Kundenbedürfnisse.

- **Produktdatenmanagement**

Als einheitliche Plattform für die Produktdaten diene das 3D-CAD-Programm UG. Die Pflege von noch bestehenden 2D-Datensätzen wurde vollständig an ein externes Ingenieurbüro übergeben, um den Transfer zu beschleunigen und die Datenschnittstellen zu vereinheitlichen.

Der universale Schreib- und Lesezugriff auf die Anforderungslisten (Lastenhefte/Pflichtenhefte) und Geometrie-Daten wurde über von allen F&E-Standorten zugängliche und über Breitbandleitungen in Echtzeit synchronisierte Datenbanken sichergestellt. Ein standortübergreifendes Rechte management stellt sicher, dass einzelne Bauteile immer nur von einem Konstrukteur bearbeitet werden und unbefugte Modifikationen ausgeschlossen sind.

Organisationsmethoden / Erfolgstreiber

- **Projekt-Organisation**

Wie üblich bei der EMAG, wurde die Projektleitung einem erfahrenen Konstruktionsmitarbeiter anvertraut, der dabei eng mit dem Abteilungsleiter Forschung & Entwicklung zusammenarbeitete. Um die Kompetenz aller Entwicklungsmitarbeiter in Projektmanagement-Techniken weiter zu steigern, werden regelmäßig entsprechende Schulungen durchgeführt. Die Befugnisse des Projektleiters waren im Vergleich zu den anderen betrachteten Fallbeispielen etwas geringer. Beispielsweise hatte er nur begrenzt die Möglichkeit, Team-Mitarbeiter auszuwählen und das Projekt nach außen zu vertreten.

Die Aufteilung der Arbeitsinhalte auf die Standorte war in hohem Maß abhängig von der Entwicklungsphase. So lag die Konzeption der Maschine zu Beginn bei der EMAG in Salach. Nachdem die Vorgaben bei einem gemeinsamen Treffen in Salach festgelegt worden waren, wurde die Entwurfs- und Konstruktionsarbeit den Standorten zugewiesen. Das externe Konstruktionsbüro übernahm die Gesamtkonzeption (insb. Schlitten, Achsen, Innenraum-Verkleidung), die EMAG in Zerbst die Blechkonstruktion, in Leipzig den Grundkörper und in Salach die Sicherstellung der Qualität, die Dokumentation und die Konzeption der Varianten der Grundmaschine.

- Transparenz

Über die starke Involvierung des F&E-Leiters, sowie der Geschäftsleitung in den Produktentstehungsprozess wurde eine relativ hohe Transparenz des technischen Reifegrades gefördert. Anhand der dreidimensionalen Darstellungen und von Festigkeitsberechnungen (FEM) konnten bei den 14-täglich stattfindenden Projektbesprechungen auf einer Projektion die kritischen Details und Lösungswege besprochen werden.

- Kollaboration

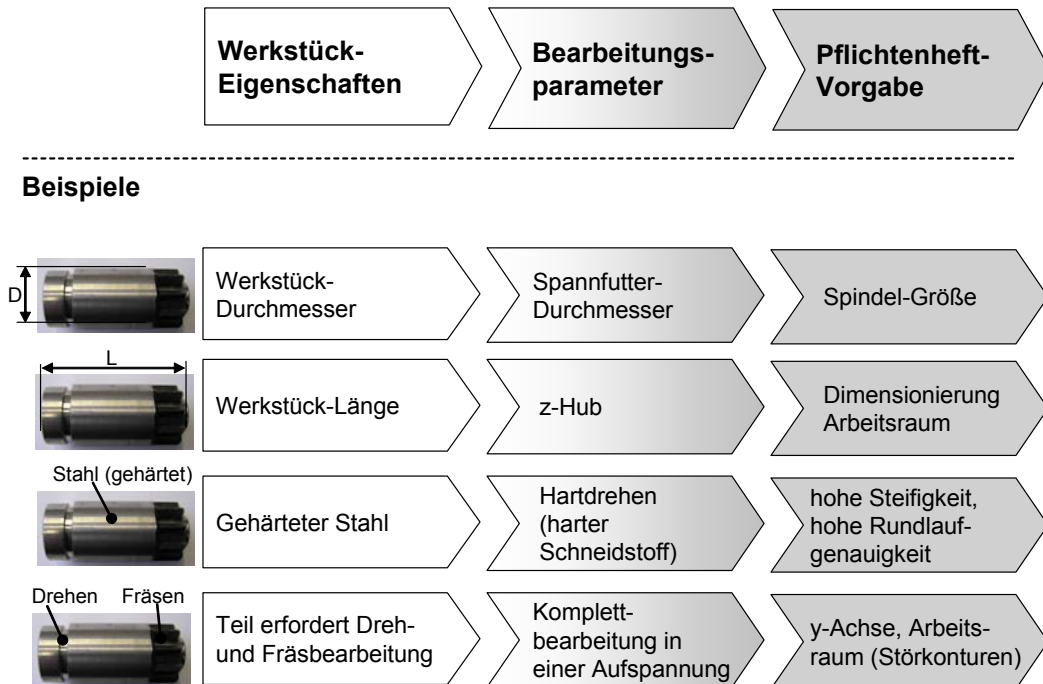


Abbildung 82: Ableitung von Pflichtenheft-Vorgaben: Werkstück²⁴⁸

Im Falle der VLC 400 MT wurde die Kollaboration mit Schlüsselkunden besonders intensiv verfolgt. So waren schon von der Konzeptionsphase an ausgesuchte Schlüsselkunden auch aus dem Ausland in die Entwicklung involviert und wurden regelmäßig eingeladen, den Entwicklungsstand zu kommentieren und neue Anregungen zu geben. So wurden beispielsweise auf Anregungen von Kunden hin die Arbeitsraumabdeckung und der Werkzeugwechsel modifiziert, sowie die Wartbarkeit und Zugänglichkeit der Maschine verbessert. Grundsätzlich wurde das Pflichtenheft systematisch aus repräsentativen Werkstücken abgeleitet. So ergaben sich aus festgestellten Eigenschaften und Anforderungen von Kundenwerkstücken Vorgaben für das Pflichtenheft (vgl. Abbildung 82 und Abbildung 83).

²⁴⁸ Eigene Darstellung.

Darüber hinaus waren Schlüsselkunden auch in die Testläufe der Prototypen eingebunden. So gab es mit einem Kunden eine Vereinbarung über die frühzeitige Lieferung eines Prototypens auf der Basis eines Leasing-Vertrags. Der Kunde zahlte somit nur, so lange die Maschine produktiv war und profitierte frühzeitig von einer fortgeschrittenen Fertigungstechnologie, auf die seine Wettbewerber noch keinen Zugriff hatten. Die EMAG hatte damit die Möglichkeit, eine neue Fertigungslösung bereits frühzeitig unter realistischen Bedingungen zu testen.

[illegible]

Technische Parameter (Auszug)		Kunden-Optionen (Beispiele)	
Maximaler z-Hub:	1500 mm	y-Achse:	wählbar
Abgedeckter x-Arbeitshub:	300 mm	Spindeln:	2. Spindel
Höhe Späneabwurf:	1250 mm	Werkstückwechsel:	2-Spur-Beladung
Eilgang z-Achse:	45 m/min	Steuerungstyp:	Siemens/Indramat/ Fanuc
Eilgang x-Achse:	80 m/min		

²⁴⁹ Eigene Darstellung.

Literaturverzeichnis

- Abele, E. (2001): Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – Potentiale schon ausgereizt?, in: Scope, EMO-Sonderheft 2001, S. 8-10.
- Abele, E. (2004): Chinas Werkzeugmaschinenbau: Tiger auf dem Sprung?, in: WB (2004) 7-8, S. 3.
- Abele, E. / Bitzer, A. (2004): Universitäre und gewerbliche Ausbildung im chinesischen Werkzeugmaschinenbau, in: ZWF, 99 (2004) 11, S. 609-613.
- Abele, E. / Bitzer, A. / Ihrcke, J. H. (2004): Wachstumsmotor in China läuft auf vollen Touren, in: WB (2004) 7-8, S. 10-12.
- Abele, E. / Elzenheimer, J. / Bundschuh, M. (2004): Post-Merger-Integration. Ein kritischer Erfolgsfaktor bei Unternehmenszusammenschlüssen, in: ZWF 99 (2004) 5, S. 239-242.
- Abele, E. / Elzenheimer, J. / Rüstig, A. (2003): Anlaufmanagement in der Serienproduktion, in: ZWF 98 (2003) 4, S. 172-176.
- Abele, E. / Förderer, B. (2005): Automatisierung im Umfeld der Werkzeugmaschine: Was wünscht der Kunde?, in: WB (2005) 10, S. 26-29.
- Abele, E. / Kuhn, S.M. / Liebeck, T. (2003): Wissensmanagement und KMU. Entwicklung eines Wissensmanagement-Werkzeugkastens für kleine und mittelständische Unternehmen, in: ZWF 98 (2003) 7-8, S. 375-379.
- Abele, E. / Nöth, G. / Rüstig, A. (2003): Neue Technologien – Mehrwert versus Mehrkosten, in: ZWF 98 (2003) 10, S. 526-529.
- Abele, E. / Radtke, P. / Zielke, A. (2004): Die smarte Revolution in der Automobilindustrie: das Auto der Zukunft – Optionen für Hersteller – Chancen für Zulieferer, Frankfurt a.M.
- Abele, E. / Schulz, H. / Sahm, A. / Versch, A. (2002): Sensoren für Prozesssicherheit, in: WB (2002) 4, S. 54-56.
- Abele, E. / Stanik, M. (2002): Angepasste Software für hohe Präzisionsanforderungen. Mikro-CAM – Spezielle CAM-Systeme für die Mikrozerspanung?, in: VDI-Z 144 (2002) 6, S. 22-24.
- Abele, E. / Stroh, C. / Gyldenfeldt, C. (2002): Schneller vom CAD-Modell zur NC-Bahn, in: WB (2004) Sonderheft HSC, S. 42-43.
- Abele, E. / Weigold, M. / Kulok, M. (2005): Industrieroboter übernehmen Zerspansaufgaben. Vision oder Marktreife?, in: WB (2005) 10, S. 49-53.

- Abele, E. / Wörn, A. (2004): Chamäleon im Werkzeugmaschinenbau. Rekonfigurierbare Mehrtechnologiemaschine, in: ZWF 99 (2004) 4, S. 152-156.
- Akao, Y. (1992): QFD – Quality Function Deployment, Landsberg/Lech.
- Almeida, P. / Kogut, B. (1999): Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks, in: Management Science 45 (1999) 7, S. 905-917.
- Altschuller, G. S. (1998): Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme, limitierter Nachdruck der 2. Auflage, Cottbus, Originalausgabe: Altshuller, G. S. (1979): Tvorchestvo kak tochnaja nauka, Moskau.
- Anderl, R. / Gräb, R. (2000): Parametrics: A key technology for efficient development of virtual products, in: Anderl, R. / Frick, C. / Katzenbach, A./ Rix, J. (Hrsg.): ProSTEP Science Days 2000. Proceedings. SMART Engineering. STEP, Methods, Applications, Research & New Technologies, Darmstadt, S. 3-13.
- Anderl, R. / Vogel, U. R. (1998): Verteiltes Arbeiten mit 3D-CAD-Systemen in Konstruktionsteams, in: Anderl, R. / Encarnação, J. L. / Rix, J. (Hrsg.): Tagungsband CAD '98. Tele-CAD. Produktentwicklung in Netzwerken, Darmstadt, 5. und 6. März 1998. Fachtagung der Gesellschaft für Informatik, Darmstadt, S. 132-143.
- Arnold, H. (2001): The recent history of the machine tool industry and the effects of technological change, (Universität München, Institut für Innovationsforschung und Technologiemanagement), München.
- Baars, H. (2003): Videokonferenzsysteme im flächendeckenden Einsatz. Ergebnisse einer Einzelfallstudie bei einem Automobilhersteller, zugl. Diss., Universität zu Köln, Reihe: InterScience Reports, Band 3, Köln.
- Baudisch, T. (2003): Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine, zugl. Diss. TU München, München.
- Baudisch, T. / Menzel, T. / Volkwein, G. / Liu, Z. (2002): Simulation mechatronischer Systeme, in: Krause, Frank-Lothar / Tang, Trac / Ahle, Ulrich (Hrsg.): Leitprojekt integrierte virtuelle Produktentstehung. Abschlussbericht, Berlin, 2002, S. 134-137.
- Bauer, L. (1998): Methoden und Werkzeuge für innovative Entwicklungsprozesse von Produktionsmaschinen, in: Milberg, Joachim / Reinhart, Gunther (Hrsg.): Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen: Mechatronische Maschinen effizient entwickeln, München.

Literaturverzeichnis

- Beck, M. (1997): Werkzeugmaschinenbau in Deutschland, Japan und den USA, zugl. Diss., Wiesbaden.
- Behrendt, I. (2002): Internationalisierung: Herausforderung an Kommunikationsform und –infrastruktur in der Unternehmung, in: Krystek, Ulrich / Zur, Eberhard (Hrsg.): Handbuch Internationalisierung: Globalisierung – eine Herausforderung für die Unternehmensführung, 2. Auflage, Berlin, 2002, S. 683-702.
- Berthold Hermle AG (2004): Geschäftsbericht 2003, Gosheim, 2004.
- Betsch, O. / Groh, A. / Lohmann, L. (2000): Corporate Finance. Unternehmensbewertung, M & A und innovative Kapitalmarktfinanzierung, 2. Auflage, München.
- Birkhofer, H. (1980): Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte, VDI Fortschrittsberichte, Reihe Konstruktionstechnik – Maschinenelemente, Nr. 70, zugl. Diss., TU Braunschweig.
- Birkhofer, H. (2001): Vorlesung Produktentwicklung an der TU Darmstadt im Wintersemester 2000/2001, Fachgebiet Maschinenelemente und Konstruktionslehre an der TU Darmstadt.
- Birkhofer, H. / Diekhöner, G.W. / Höffler, H.-O. / Sachs, K.-H. / Voegelé, A. (1985): Konstruktionssystematik in der mittelständischen Industrie. Leitfaden und Anwendungsbeispiele aus der Praxis mittelständischer Unternehmen, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträgerschaft Fertigungstechnik, Forschungsbericht KfK-PFT 15, Karlsruhe.
- Birkhofer, H. / Nötzke, D. (2000): Anforderungen nutzen. Umfassende Dokumentation und effizienter Zugriff auf Anforderungen durch XML-Technologie, in: ZWF 95 (2000) 10, S. 471-474.
- Birolini, A. (1997): Quality and Reliability of Technical Systems. Theory – Practice – Management, 2. Auflage, Berlin u.a.
- Blind, K. / Edler, J. / Frietsch, R. / Schmoch, U. (2003): Erfindungen kontra Patente. Schwerpunktstudie "zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschland", Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Boutellier, R. (1999): Qualitätsplanung, in: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement, 4. Auflage, München/Wien, S. 271-298.
- Bronstein, I. N. / Semendjajew, K. A. / Musiol, G. / Mühlig, H. (1997): Taschenbuch der Mathematik, Frankfurt am Main.

Literaturverzeichnis

- Broos, A. / Melchinger, A. / Schmitz, E.-U. (2005): Mit der Simulation schneller am Markt. CA-Techniken helfen bei der Optimierung von Fertigungseinrichtungen, *Intelligenter Produzieren* (2005) 3, S. 17-18.
- Brown, M.G. / Svenson, R.A. (1988): Measuring R&D productivity, in: *Research Technology Management* 31 (1988) 4, S. 11-15.
- Brunetti, G. / Benölken, P. / Rix, J. (2000): The role of product data technology in the integration of PDM/CAD with virtual reality, in: in: Anderl, R. / Frick, C. / Katzenbach, A. / Rix, J. (Hrsg.): *ProSTEP Science Days 2000. Proceedings. SMART Engineering. STEP, Methods, Applications, Research & New Technologies*, Darmstadt, S. 169-180.
- Brunner, T. (2005): Internationales Projektmanagement am Beispiel von LKW-Produktprojekten. Ein neues umfassendes Konzept und seine ganzheitliche Anwendung, zugl. Diss., TU Clausthal, Reihe Innovationen der Fabrikplanung und –organisation, Band 11, Aachen.
- Brusch, M. / Trilk, H. / Dinse, C. / Treppa, A. (2001): Gemeinsam stärker. Integration von Quality Function Deployment und Target Costing, in: *QZ* 46 (2001) 10, S. 1306-1310.
- Burger, A. (1999): *Kostenmanagement*, 3. Auflage, München u.a.
- Camp, R. C. (1994): *Benchmarking*, München/Wien.
- Cebulla, T. (2004): Entwicklung einer asynchronen Kommunikationsunterstützung für multidisziplinäre Teams, zugl. Diss., Universität Stuttgart, Heimsheim.
- Common Wealth (2004): Ranking of top 1000 manufacturers in Taiwan, 1. Mai 2004, Taipeh.
- Conrady, P. (1998): Integrierte Vorgehensweise bei der Konstruktion einer Druckmaschine, in: Milberg, Joachim / Reinhart, Gunther (Hrsg.): *Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen: Mechatronische Maschinen effizient entwickeln*, München.
- Cooper, R. G. (2001): *Winning at New Products. Accelerating the Process from Idea to Launch*, 3. Auflage, New York.
- Dammer, M. (2004): Integration von CAE-Systemen zur Werkzeugmaschinenentwicklung. Ein Beitrag zur Entwicklung eines integrierten Konstruktionsarbeitsplatzes, *Berichte aus der Produktionstechnik*, zugl. Diss. RWTH Aachen, Aachen.
- Ehrlenspiel, K. / Kiewert, A. / Lindemann, U. (2003): Kostengünstig entwickeln und konstruieren. *Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*, 4. Auflage, Berlin u.a.

Literaturverzeichnis

- Ellermeier, A. / Tschannerl, M. / Mehr, A. (2002): Wagnis und Chance der Technologie-Integration, in: WB (2002) 11, S. 10-14.
- Eversheim, W. (1989): Organisation in der Produktionstechnik, Band 4, Fertigung und Montage, 2. Auflage, Düsseldorf.
- Farr, M. / Fischer, W. (1992): Managing International High Technology Cooperative Projects, in: R&D Management 22 (1992) 1, S. 12-19.
- Felmy, H. (2004): VDI-Kongress: Wertanalyse als modernes Managementinstrument, in: QZ 49 (2004) 8, S. 14-15.
- Fili, W. (2004): Rekonfiguration von Werkzeugmaschinen und Transferstrassen. Nutzungsdauer soll unabhängig vom Produktlebenszyklus werden, in: Industrieanzeiger (2004) 24/25, S. 42-44.
- Franz, K.-P. (1993): Target Costing. Konzept und kritische Bereiche, in: Controlling 5 (1993) 3, S. 124-130.
- Frick, W. (2002): Quo vadis, Werkzeugmaschine?, in: Maschine + Werkzeug, Sonderheft "50 Jahre EMAG in Baden-Württemberg", September 2002.
- Fromm, H. (1999): Benchmarking, in: Masing (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement, 4. Auflage, München/Wien, S. 93-102.
- Galla, M. (2004): Social Relationship Management in Internet-based Communication and Shared Information Spaces, zugl. Diss, TU München, München.
- Gausemeier, J. / Stollt, G. / Dreher, C. / Kinkel, S. (2005): WZM 20XX – Initiative für die Werkzeugmaschine von morgen. Strategische Planung leicht gemacht, in: ZWF 100 (2005) 7-8, S. 420-424.
- Gessner, K. (2001): Package-Features für die Kommunikation in den frühen Phasen der Automobilentwicklung, zugl. Diss., TU Berlin, Berlin.
- Gessner, K. / Helling, H. / Brunner, H. (1999): Umgang mit unreifen Daten in der frühen Phase der Automobilentwicklung, in: ZWF 94 (1999) 7-8, S. 445-448.
- Gesterkamp, C. / Mendgen, R. (2002): Produktentwicklungsprozesse in einer partnerschaftlichen Entwicklungsumgebung, in: Krause, F.-L. / Tang, T. / Ahle, U. (Hrsg.): Leitprojekt integrierte virtuelle Produktentstehung. Abschlussbericht, Berlin, 2002, S. 170-175.
- Gildemeister AG (2004): Geschäftsbericht 2003, Bielefeld, 2004.
- Gildemeister AG (2005): Geschäftsbericht 2004, Bielefeld, 2005.
- Götze, U. / Fischer, J. O. (2005): Entwicklung einer Methodik zur verbesserten Ermittlung von Funktionskosten, in: ZWF 100 (2005) 4, S. 219-224.

Literaturverzeichnis

- Graaf, R. de (1996): Assessing Product Development – Visualising Process and Technology Performance with RACE, zugl. Diss., TU Eindhoven, Verweij, Mijdrecht 1996.
- Grob, H. L. / Lahme, N. (2004): Total Cost of Ownership-Analyse mit vollständigen Finanzplänen, in: Controlling 16 (2004) 3, S. 157-163.
- Großmann, K. / Wunderlich, B. (2000): Simulation im Produktprozess. Von der Entwicklung bis zur Steuerung einer Parallelkinematik, in: ZWF 95 (2000) 10, S. 483-486.
- Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. (2000): Produktion und Logistik, 4. Auflage, Berlin u.a.
- Häckelmann, H. / Petzold, H. J. / Strahringer, S. (2000): Kommunikationssysteme. Technik und Anwendungen, Berlin u.a.
- Hardt, S. (2002): Virtuelle Produktentstehung: Maschinenbau nutzt Potenziale noch nicht. Konstrukteur und Maschine sind intuitiv verbunden, in: Industrieanzeiger (2002) 11, S. 58-60.
- Hartung, J. / Elpelt, B. / Klösener, K.-H. (1999): Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 12. Auflage, München/Wien.
- Hauschildt, J. / Vollstedt, M. (2002): Unternehmenssprachen oder Company Language? Zur Einführung einer einheitlichen Sprache in global tätigen Unternehmen, in: Zeitschrift für Führung und Organisation 71 (2002) 3, S. 173-183.
- Heike, H.-D. / Tarcolea, C. (2000): Grundlagen der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, München/Wien.
- Herrmann, A. / Huber, F. (2000): Determinanten des Erfolgs von Quality Function Deployment – Projekten, in: ZfB 70 (2000) 1, S. 27-53.
- Herzhoff, P. (2003): Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung beim Wälzfräsen mit HSS-Werkzeugen, zugl. Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Hirsch, A. (2000): Werkzeugmaschinen. Grundlagen, Braunschweig/Wiesbaden.
- Hoffmann, M. / Beitz, W. (1998): Kooperative verteilte Produktentwicklung auf der Basis breitbandiger Netze, in: VDI (Hrsg.): Informationsverarbeitung in der Konstruktion '98 – Prozessketten für die virtuelle Produktentwicklung in verteilter Umgebung, Tagung München, 20./21. Oktober '98, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, VDI-Berichte: 1435, Düsseldorf, S. 259-276.

Literaturverzeichnis

- Horn, W. / Stanik, M. (2005): Die Anlage muss sich anpassen. Zukunftsperspektive für Werkzeugmaschinen: Rekonfigurierbar und mehrtechnologieorientiert, in: Intelligenter Produzieren (2005) 3, S. 24-25.
- Horvath, P. (1998): Controlling, 7. Auflage, München, 1998.
- IKB (Deutsche Industriebank, 2004): Märkte im Fokus. Maschinenbau in Deutschland – Traditionsbranche mit hoher Innovationskraft, IKB Report, Düsseldorf.
- ITU (2004): ITU Yearbook of Statistics - Telecommunication Services. Chronological time series 1994-2003, Genf.
- Jansen, H. / Langenberg, D. (2003): Standortübergreifende Produktentwicklung, in: ZWF 98 (2003) 6, S. 303-305.
- Kaderali, F. / Schaup, S. (1999): Einige Entwicklungstrends der IUK-Technologien, Bericht des NRW-Forschungsverbundes "Multimedia und Gesellschaft", Fernuniversität Hagen.
- Kaiser, J. / Berninger, A. (2000): Ganzheitliches Änderungsmanagement für verteilte Produktentwicklung mit PDM und ERP am Beispiel der KUKA Roboter GmbH, in: VDI (Hrsg.): Produkte entwickeln im realen Umfeld – Was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung?, Tagung München, 9./10. November 2000, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, VDI-Berichte: 1569, Düsseldorf, S. 329-340.
- Keating, P. J. / Sakurai, M. (1994): Target Costing und Activity-Based Costing, in: Controlling 6 (1994) 2, S. 84-91.
- Keim, G. / Littkemann, J. (2004): Methoden des Projektmanagements und –controlling, in: Littkemann (2004): Innovationscontrolling, München.
- Kiesewetter, T. (1996): Integrativer Produktentwicklungsarbeitsplatz mit Multimedia- und Breitbandkommunikationstechnik, zugl. Diss., TU Berlin, Berlin.
- King, B. (1994): Doppelt so schnell wie die Konkurrenz – Quality Function Deployment, St. Gallen.
- Klocke, F. / Kobialka, C. (1999): Trockene Zahnradfertigung – eine Abschätzung von Potential und Risiko, in: VDI-Z 141 (1999) 6, S. 44-47.
- Kobialka, C. (2001): Prozessanalyse für das Trockenwälzfräsen mit Hartmetallwerkzeugen, zugl. Diss., RWTH Aachen, Aachen.

Literaturverzeichnis

- Kobialka, C. (2005): Prozessintegration in der Getriebefertigung. Fertigungssystem Verzahnen, in: VDI-Z 147 (2005) 5, S. 45.
- Koppenhöfer, C. / Johannsen, A. / Kremer, H. / Bumiller, J. (1998): Bedarf und Nutzung von Telekooperationssystemen im verteilten Produktentwicklungsprozess, in: Anderl, R. / Encarnação, J. L. / Rix, J. (Hrsg.): Tagungsband CAD '98. Tele-CAD. Produktentwicklung in Netzwerken, Darmstadt, 5. und 6. März 1998. Fachtagung der Gesellschaft für Informatik, Darmstadt, S. 121-131.
- Krause, F.-L. / Heimann, R. (2000): Sprache zur Beschreibung von Produktentwicklungsprozessen, in: ZWF 95 (2000) 6, S. 302-307.
- Krause, F.-L. / Jansen, H. / Schultz, R. (2003): Kooperative Produktentstehung in vernetzten Unternehmen, in: ZWF 98 (2003) 10, S. 518-521.
- Krystek, U. (2003): Benchmarking – Auf der Suche nach Best Practices, in: Betrieb und Wirtschaft (2003) 23, S. 969-975.
- Langerwisch, P. (2000): Organisation von Forschung und Entwicklung in Japan. Eine empirische Untersuchung am Beispiel von Unternehmen des japanischen Werkzeugmaschinenbaus, zugl. Diss., Berlin.
- Lechner, G. (2004): Gildemeister – integriertes Beschaffungsmanagement-Konzept. Bewerbung BME Innovationspreis 2004, Bielefeld.
- Lindemann, U. (2005): Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, Heidelberg.
- Lindemann, U. / Baumberger, G. C. (2004): Bewertung von Innovationsleistungen in der Unternehmung. Ein Konzept für das Benchmarking von Innovationsprozessen, in: ZWF 99 (2004) 7-8, S. 368-375.
- Lindemann, U. / Fuchs, D.-K. / Gaul, H.-D. (2000): House of Communication. Ein Kommunikationsmodell im globalen Umfeld, in: ZWF 95 (2000) 7-8, S. 366-368.
- Longmuß, J. (2003): Der Referenz-Prozess – eine Leitlinie für den gesamten Produktentstehungsprozess, in: Konstruktion (2003) 9, S. 64-67.
- Markworth, R. (2003): Entwicklungsbegleitendes Digital Mock-Up im Automobilbau, zugl. Diss. TU Berlin, Aachen.
- Meier, H. / Kreusch, K. (1999): Virtuelle Welten. Neue Dimensionen für den Werkzeugmaschinenbau, in: ZWF 94 (1999) 9, S. 566-569.

Literaturverzeichnis

- Mertens, K. / Kohl, H. (2004): Benchmarking-Techniken, in: Mertens, Kai (Hrsg.): Benchmarking. Leitfaden für den Vergleich mit den Besten, Düsseldorf, 2004.
- Milberg, J. (1995): Werkzeugmaschinen Grundlagen. Zerspantechnik, Dynamik, Baugruppen und Steuerungen, 2. Auflage, Berlin u.a., 1995.
- Milberg, J. / Reinhart, G. (1998): Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen: Mechatronische Maschinen effizient entwickeln, München.
- Miles, L.D. (1961): Technique of Value Analysis and Engineering, New York.
- Niemann, J. (2005): Nicht nur das Preisschild zählt. Gesamtkosten von Maschinen und Anlagen über deren komplette Laufzeit, in: Beschaffung Aktuell (2005) 6, S. 38-39.
- Oehlschlaeger, H. / Krebs, J. (2004): Virtuelle Entwicklung von Fahrzeuergonomien in frühen Phasen des Fahrzeug-Produktentstehungsprozesses bei VWN, in: Gausemeier, J. / Grafe, M. (Hrsg.): Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge. Virtual Prototyping / Digital Mock Up, Digitale Fabrik. Integration von AR/VR in Produkt- und Prozessentwicklung, Paderborn, 2004.
- Orloff, M. A. (2003): Inventive Thinking through TRIZ. A Practical Guide, Berlin u.a.
- Ortelbach, B. (2005): Multi Market Target Costing. Anwendung des Zielkostenmanagements in der internationalen Produktentwicklung, in: Controlling 17 (2005) 3, S. 163-172.
- O'Shea, M. A. (2002): Anforderungserhebung unter Berücksichtigung des Kano-Modells, in: Konstruktion 54 (2002) 4, S. 96-100.
- Osten-Sacken, D. von der (1999): Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen, zugl. Diss., Universität Stuttgart, Heimsheim.
- Pahl, G. / Beitz, W. / Feldhusen, J. / Grote, K.-H. (2005): Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, 6. Auflage, Berlin u.a.
- Pawellek, G. / Schramm, A. (2000): Neues EDV-Werkzeug für die Produktentwicklung. Target Costing im Maschinen- und Anlagenbau, in: ZWF 95 (2000) 10, S. 467-470.
- Perlewitz, U. (2000): Life Cycle Costing. 30 Prozent Sparpotenzial, in: Automobil-Produktion (2000) 5, S. 40-42.

- Pfeifer, T. / Lesmeister, F. (1999): Präventive QM-Methoden einfacher gestalten, in: ZWF 94 (1999) 11, S. 642-645.
- Pfeifer, T. / Schmitt, R. / Bernards, M. / Prefi, T. / Falk, G. (2004): Quality-Gate-Systematik in Entwicklungsprojekt der Luftfahrt. Tore zum Himmel, in: QZ Qualität und Zuverlässigkeit 49 (2004) 9, S. 20-23.
- Pfohl, M. / Schimpf, T. (1999): Mehrdimensionale Steuerung von Produktentwicklungen im Rapid Product Development. Steigerung der Effektivität und Effizienz in Entwicklungsprojekten, in: ZWF 94 (1999) 9, S. 503-508.
- Queins, M. / Paepenmüller, F. (2005): Nah am Werkstück, in: WB 138 (2005) 9, S. 97-101.
- Radgen, P. (2003): Druckluftkosten: Sogar Pneumatiker SMC könnte 17% einsparen. Benchmarking zeigt, ob der Wettbewerb besser ist, in: Industrieanzeiger (2003) 46, S. 40-42.
- Reinhart, G. / Lindemann, U. / Heinzl, J. (1996): Qualitätsmanagement, Berlin.
- Reinhart, G. / Meinschmidt, J. / Weißenberger, M. (2000): Optimierung von Werkzeugmaschinen am virtuellen Maschinenprototyp, in: ZWF 95 (2000) 11, S. 550-553.
- Reinhart, G. / Zeller, W. (2000): Simulation von Werkzeugmaschinen unter dem Aspekt des sicherheitsrelevanten Verhaltens der Antriebe, in: ZWF 95 (2000) 11, S. 492-495.
- Robok, H. (1999): Digitale Produktion hat die Nase vorn, in: Industrieanzeiger (1999) 9, S. 40-41.
- Runde, C. / Fisser, F. (2004): Einsatz der digitalen Fabrik und virtuellen Realität im Werkzeugmaschinenbau, in: ZWF, 99 (2004) 4, S. 192-195.
- Saatweber, J. (2005): Nutzen- und Qualitätsmanagement im Entwicklungsprozess – Kundenanforderungen systematisch umsetzen und Risiken minimieren, in: Schäppi, B. / Andreasen, M. / Kirchgeorg, M. / Radermacher, F.-J. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung, München/Wien, S. 357-396.
- Sabisch, H. / Tintelnot, C. (1997): Integriertes Benchmarking für Produkte und Produktentwicklungsprozesse, Berlin / Heidelberg / u.a.
- Sanft, C. (1995): Entwicklung von Werkzeugmaschinen auf der Basis eines integrierten Produktmodells, zugl. Diss. TU Berlin, München.
- Scharer, M. (2002): Quality Gates mit integriertem Risikomanagement. Methodik und Leitfaden zur zielorientierten Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen, zugl. Diss., Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

Literaturverzeichnis

- Schmidt, R. / Steffenhagen, H. (2002): Quality Function Deployment, in: Albers, S. / Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement. Strategieentwicklung – Produktplanung – Organisation – Kontrolle, 2. Auflage, Wiesbaden, S. 683-700.
- Schmitz, W. (1999): Videokonferenz als eigenständige Kommunikationsform. Eine explorative Analyse, unveröffentlichter Vortrag, Universität Klagenfurt, 10.12.1999.
- Schöttner, J. (2000): Produktdatenmanagement. Werkbank für das digitale Produkt, in: ZWF 95 (2000) 10, S. 463-466.
- Schröder, J. (2003): Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau, zugl. Diss., RWTH Aachen, Aachen.
- Schuh, G. / Klocke, F. / Brecher, C. / Schmitt, R. (2005): Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik, in: VDI-Z 147 (2005) 5, S. 48-51.
- Seidenschwarz, W. (1991): Target Costing. Ein japanischer Ansatz für das Kostenmanagement, in: Controlling 3 (1991) 4, S. 198-203.
- Siegler, R. (1998): Mechatronischer Entwicklungsprozess am Beispiel Werkzeugmaschinen, in: Milberg, Joachim / Reinhart, Gunther (Hrsg.): Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen: Mechatronische Maschinen effizient entwickeln, München.
- Sisalem, D. (2005): Kommunikation. Bei Anruf Spam?, in: Lufthansa exclusive, (2005) 5, S. 62-63.
- Sohl, H. M. (1996): Wettbewerbsorientierte Gestaltung der Prozessorganisation, zugl. Diss., Universität Passau, 1996.
- Spath, D. / Raschke, D. (2004): Projekte und Prozesse in der Automobilentwicklung, in: ZWF 99 (2004) 4, S. 168-172.
- Spath, D. / Scharer, M. / Landwehr, R. / Förster, H. / Schneider, W. (2001): Tore öffnen. Quality-Gate-Konzept für den Produktentstehungsprozess, in: QZ Qualität und Zuverlässigkeit 46 (2001) 12, S. 1544-1549.
- Spath, D. / Scharer, M. / Nesges, D. (2003): Quality Gate Concept with Integrated Risk Management, in: Production Engineering 10 (2003) 1, S. 73-76.
- Specht, G. / Beckmann, C. / Amelingmeyer, J. (2002): F&E-Management. Kompetenz im Innovationsmanagement, 2. Auflage, Stuttgart.
- Sprengel, A. (2000): Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung, zugl. Diss., TU München, München.

Literaturverzeichnis

- Spur, G. (1999): Das digitale Produktmodell als virtueller Prototyp, in: ZWF 94 (1999) 7-8, S. 370-375.
- Stetter, R. (2003): Software in der Mechatronik. Die Arbeitsabläufe im Maschinenbau müssen an die zunehmende Bedeutung von Elektronik und Software angepasst werden, in: PackReport (2003) 9, S. 37-38.
- Taiwan Association of Machinery Industry (2005): Who makes Machinery in Taiwan 2004-2005, Taipeh.
- Thommen, J.-P. / Achleitner, A.-K. (1999): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 2. Auflage, Wiesbaden.
- Trumpf (2004): Annual report 2004, Unternehmens-Website (www.trumpf.com).
- UMTS-Forum (2005): 3G/UMTS commercial deployments, Internet-Referenz: http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts-/Resources_Deployment_index, Abruf am 19. Mai 2005.
- Van den Bulte, C. / Moenert, R. K. (1997): The effects of R&D team co-location on communication patterns among R&D, marketing and manufacturing, ISBM Report 7-1997, Institute for the Study of Business Markets, Pennsylvania State University, Pennsylvania.
- VDI (1994): VDI-Richtlinie 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung, Düsseldorf.
- VDI (1996): VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen, Düsseldorf.
- VDI (2003): Entwurf der VDI-Richtlinie 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life-Cycle-Costing (LCC), Düsseldorf.
- VDI Nachrichten (2002): Messe EMO im Land der Fertigungstechnik. Im Land, wo die Zitronen blühen, wachsen auch Maschinen, in: VDI Nachrichten (2002) 42, 17.10.2003, S. 2.
- VDI Nachrichten (2005): Innovativer Maschinenbau drängt in den Export, in: VDI Nachrichten, 16.9.2005, Rubrik Technik und Wirtschaft.
- VDMA (1992): Zwischenbetrieblicher Vergleich – Kennzahlen und Informationen aus dem Bereich Entwicklung und Konstruktion, Ergebnisse 1991, VDMA, Abteilung Informatik.
- VDMA (2002): Eckpunktepapier des VDMA. Richtlinien zu umgekehrten Auktionen (reverse auctions/Einkaufsauktionen), 13. Mai 2002, Frankfurt.

Literaturverzeichnis

- VDMA (2005): Maschinenbau in Zahl und Bild 2005, VDMA Volkswirtschaft und Statistik, Frankfurt, 2005.
- VDMA / Impuls-Stiftung (2004): The Emergence of China as an International Competitor to German Machinery Manufacturers - Machine Tools & Manufacturing Systems, Precision Tools, Singapore/Darmstadt/Frankfurt am Main, Impuls-Stiftung (Eigenverlag).
- VDW (2005): Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie im Jahr 2004, Frankfurt, 2005.
- VDW (2006): Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie im Jahr 2005, Frankfurt, 2006.
- Volkswagen AG (2004): Virtuelle Revolution bei Volkswagen. 3D-Technologie setzt Maßstäbe in der Fahrzeugentwicklung. Volkswagen investiert 20 Millionen Euro in neue Visualisierungszentren, Pressemitteilung vom 4. Oktober 2004, Wolfsburg.
- Wahl, M. (2000): Methode zur Entwicklung kostengünstiger Werkzeugmaschinen, Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung, zugl. Diss. TU Darmstadt, Aachen.
- Weber, P. (2003): Digital Mock-up im Maschinenbau, zugl. Diss., RWTH Aachen, Aachen.
- Weck, M. (1998): Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1. Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Berlin u.a.
- Weck, M. / Queins, M. / Brecher, C. (2003): Coupled Simulation of Control Loop and Structural Dynamics, in: Production Engineering 10 (2003) 2, S. 105-110.
- Weck, M. / Queins, M. / Witt, S. (2003): Effektive Entwicklung von Werkzeugmaschinen. Durchgängige Datenmodelle gestatten den Verzicht auf Prototypen, in: VDI-Z 145 (2003) 10, S. 32-37.
- Wenzke, S. (2003): Flexible Gestaltung des Analyseprozesses technischer Probleme mit TRIZ-Werkzeugen, zugl. Diss., Universität Cottbus, Wiesbaden.
- Werner, B. (2002): Messung und Bewertung der Leistung von Forschung und Entwicklung im Innovationsprozeß. Methodenüberblick, Entwicklung und Anwendung eines neuen Konzepts, zugl. Diss., TU Darmstadt, Darmstadt.
- Wieczorek, A. (1999): Methodeneinsatz für Zieldefinition und Steuerung von Entwicklungsprojekten, in: Boutellier, R. / Völker, R. / Voit, E. (1999): Innovationscontrolling. Forschungs- und Entwicklungsprozesse gezielt planen und steuern, München/Wien.

Literaturverzeichnis

- Wiendahl, H.-P. (2005): Betriebsorganisation für Ingenieure, 5. Auflage, München u.a.
- Wildemann, H. (2001): Messung und Bewertung des Prozessfortschritts. Quality Gates für Entwicklungsprozesse, in: VDI-Z 143 (2001) 5, S. 31-34.
- Wildemann, H. (2003): Handlungsorientiertes Monitoring des Erfolgs von F&E-projekten, in: ZWF 98 (2003) 4, S. 134-140.
- Wildemann, H. (2004): Entwicklungszeitreduzierung: Lösungsansätze zur Beschleunigung von Entwicklungsprozessen, München.
- Winkel, O. (2005): Steigerung der Leistungsfähigkeit von Hartmetallwälzfräsern durch eine optimierte Werkzeuggestaltung, zugl. Diss., RWTH Aachen, Aachen.
- Zedtwitz, M. (2003): Initial directors of international R&D laboratories, in: R&D Management 33 (2003) 4, S. 377-393.
- ZEW (2004): ZEW Branchenreport Innovationen. Ergebnisse der deutschen Innovationserhebung 2003, 11 (2004) 8.
- Zwicky, F. (1966): Entdecken, erfinden, forschen im morphologischen Weltbild, München.